

JFW  
1732

**CERTIFICATE OF MAILING**

I hereby certify that this correspondence is being deposited on February 22, 2005 with the United States Postal Service by First Class Mail, in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, Washington, DC 20231, by Thomas Lizzi, Esq.

Thomas Lizzi  
Thomas Lizzi

Date: February 22, 2005

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In the application of: Russel et al. )

)

GROUP ART UNIT: 1732

Serial No.: **10/817,159** )

)

Filed: April 2, 2004 )

)

Examiner: Michael Colaianni

For: Apparatus and Method for 3D )

)

Printing )

)

Date: February 22, 2005

Commissioner For Patents  
P.O.Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

RECEIVED  
MAR 07 2005  
TC 1700

OK to  
enter  
4/7/05  
GREGORY MILLS  
QUALITY ASSURANCE SPECIALIST

Dear Sir:

**THIRD PARTY SUBMISSION UNDER 37 C.F.R. 1.99**

This is a Third Party Submission under 37 C.F.R. 1.99 with regard to the above-identified patent application. That patent application was published as Pub. No. US 2004/0265413 A1 on December 30, 2004. The submitter believes this submission is timely as it is being made within two months of that publication date. Enclosed is a check for the fee set forth in 37 C.F.R. 1.17(p) in the amount of \$180.

A copy of this submission is being served by first class mail upon the applicants' attorneys, Testa, Hurwitz & Thibault, LLP, at the address listed on the face of the published application. A proof of service is enclosed.

A listing of the patents and publications that the submitter believes to be pertinent to the examination of this application are as follows:

02/28/2005 RFEKADU1 00000023 10817159

01 FC:1806

180.00 0P

(1) WO 2004/014637 A1 published on February 19, 2004. An English translation is enclosed for this reference.

(2) DE 199 53 998 A1 published on May 17, 2001. An English translation is enclosed for relevant portions of this reference.

(3) U.S. Pat. No. 6,042,774 published on March 28, 2000.

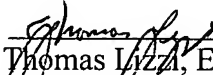
(4) "Evaluation of Advanced Ceramics Market for New Applications of Three Dimensional Printing," Michael L. Rynerson, Thesis for Master of Science Degree, Massachusetts Institute of Technology, dated May 1995. The thesis was published by public availability in the MIT libraries on August 31, 1995.

Full copies of References (1) to (3) are enclosed. Only a relevant portion of Reference (4) is enclosed.

The submitter believes the submitted references to be free from all markings. However, if any markings are found in any of the references, they are to be disregarded as having no intended significance relative to the evaluation of the examination of the above-identified patent application.

Respectfully submitted,

Extrude Hone Corporation

By:   
Thomas Lizzi, Esq.  
Reg. No. 35,252  
IP & Internet Law North, LLC  
P.O. Box 38  
Zelienople, PA 16063  
Phone & Fax: (724) 452-4414  
Email: [tlizzi@ipandinternetlawnorth.com](mailto:tlizzi@ipandinternetlawnorth.com)

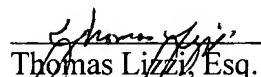


**PROOF OF SERVICE**

I hereby certify that on February 22, 2005, a true and correct copy of the foregoing Third Party Submission under 37 C.F.R. 1.99 concerning U.S. Pat. Appl. Ser. No. 10/817,159, and true and correct copies of all of the patents and publications listed therein or portions thereof were served in accordance with 37 C.F.R. 1.248(a)(4) by transmittal by United States First Class Mail to the attorneys for applicants at the following address which was listed on the face of the published patent application:

Testa, Hurwitz & Thibault, LLP  
High Street Tower  
125 High Street  
Boston, MA 02110

**RECEIVED**  
**MAR 07 2005**  
**TC 1700**

  
Thomas Lizzi, Esq.  
Reg. No. 35,252

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. Februar 2004 (19.02.2004)

PCT

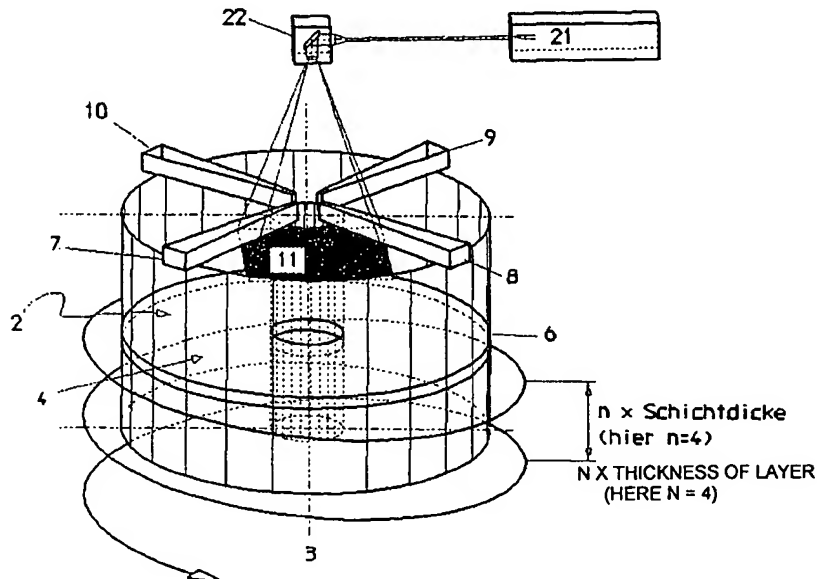
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/014637 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B29C 67/00 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MATTES, Thomas  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/008520 [DE/DE]; Blumenstrasse 73, 82110 Germering (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 31. Juli 2003 (31.07.2003) (74) Anwälte: HOFER, Dorothea usw.; Prüfer & Partner GbR,  
Harthausen Strasse 25d, 81545 München (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, IN, JP, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).  
(30) Angaben zur Priorität: 102 35 434.0 2. August 2002 (02.08.2002) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): EOS GMBH ELECTRO OPTICAL  
SYSTEMS [DE/DE]; Robert-Stirling-Ring 1, 82152  
Krailling/München (DE).  
Erklärung gemäß Regel 4.17:  
— Erfindenerklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US  
Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT BY MEANS OF A GENERATIVE PRODUCTION METHOD

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES DREIDIMENSIONALEN OBJEKTS MITTELS EINES GENERATIVEN FERTIGUNGSVERFAHRENS



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for the generative production of three-dimensional objects in a layered manner by selectively solidifying a solidifiable liquid or powdery structural material. By rotatably displacing the assembly region (2) in which the objects are produced, in relation to a material application device (7) for applying layers of the structural material and a solidifying device (1), the material application device (7) and the solidifying device (1) can be simultaneously used at different points of the assembly region.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/014637 A1



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**(57) Zusammenfassung:** Es werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur schichtweisen, generativen Herstellung von dreidimensionalen Objekten durch selektives Verfestigen eines verfestigbaren flüssigen oder pulverförmigen Aufbaumaterials vorgesehen. Durch eine Drehbewegung des Baubereichs (2), in dem die Objekte hergestellt werden, gegenüber einer Materialauftragevorrichtung (7) zum Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials und einer Verfestigungseinrichtung (1) können die Materialauftragevorrichtung (7) und die Verfestigungseinrichtung (1) gleichzeitig an unterschiedlichen Stellen des Baubereichs eingesetzt werden.

Vorrichtung und Verfahren zum Herstellen eines  
dreidimensionalen Objekts mittels eines generativen  
Fertigungsverfahrens

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts mittels eines generativen Fertigungsverfahrens.

Bei den generativen Fertigungsverfahren, wie z. B. dem Selektiven Lasersintern, der Stereolithographie, dem LOM-Verfahren (Laminated Object Manufacturing), dem FDM-Verfahren (Fused Model Deposition), dem dreidimensionalen Drucken (Verfestigen von pulverförmigem Material mittels eines Klebers oder mittels chemischer Reaktion, insbesondere mittels der Verwendung von Mehrkomponentensystemen aus Binder/Härter oder mittels des Aufschmelzens von Thermoplast) wird das dreidimensionale Objekt schichtweise hergestellt, indem Schichten eines Aufbaumaterials aufgetragen und an den dem Querschnitt des Objekts entsprechenden Stellen miteinander verbunden werden.

Eine Vorrichtung zur schichtweisen Herstellung eines dreidimensionalen Objektes durch Selektives Lasersintern ist bei-

spielsweise aus der EP 0 734 842 bekannt. Dort wird eine erste Schicht eines pulverförmigen Materials auf einen absenkbaren Träger aufgebracht und an den dem Objekt entsprechenden Stellen bestrahlt, so daß das Material dort zusammensintert. Danach wird der Träger abgesenkt und es wird auf diese erste Schicht eine zweite Schicht aufgebracht und wiederum selektiv gesintert, die dabei mit der ersten Schicht verbunden wird. Dadurch wird das Objekt schichtweise gebildet.

Unter Auftrag von Schichten eines Aufbaumaterials wird in dieser Anmeldung nicht ein selbständiges Fließen des Materials in den Zwischenraum zwischen Behälterboden und Träger verstanden, wie dies beispielsweise in DE 199 57 370 beschrieben ist.

Herkömmliche Lasersintermaschinen arbeiten bei der Herstellung von Objekten die grundlegenden Verfahrensschritte wie Dosierung, Beschichtung, Temperierung und Belichtung seriell ab oder haben diese prinzipbedingt nur teilweise parallelisiert. Hierdurch enthält das Verfahren lange Zeitdauern, innerhalb derer kein Material verfestigt wird. Die Folge ist eine gegenüber einem theoretischen Maximum an Produktivität, welches sich aus der verfügbaren Laserleistung sowie der Empfindlichkeit des zu verfestigenden Materials ergibt, reduzierte Produktivität einer Maschine. Ähnliches gilt für Vorrichtungen die für die anderen oben genannten generativen Fertigungsverfahren bekannt sind.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es die Produktionsgeschwindigkeit einer Vorrichtung zur schichtweisen Herstellung von dreidimensionalen Objekten sowie die Produktivität eines zugehörigen Verfahrens zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 1 gekennzeichnete Vorrichtung und das in Patentanspruch 17 gekennzeichnete Verfahren gelöst.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Seitenansicht einer Vorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine Vorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 eine perspektivische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 eine Draufsicht auf eine Vorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine perspektivische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

#### Erste Ausführungsform

Fig. 1 zeigt eine Querschnittsansicht einer Vorrichtung zur schichtweisen Herstellung von dreidimensionalen Objekten gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Die Vorrichtung weist einen Baubereich 2 nicht notwendigerweise kreis-



förmigen Querschnitts auf. Dieser wird von einem nach oben offenen Baubehälter 4 mit einer äußeren Begrenzungsfläche 17 und einer inneren Begrenzungsfläche 16 eingenommen. Durch das Vorsehen der inneren Begrenzungsfläche 16 weist der durch die äußere Begrenzungsfläche 17 definierte Bauraum eine Ausnahme auf. Eine Bauplattform 6 dient als untere Begrenzung des Baubehälters 4 und ist so gestaltet, daß sie den Bereich zwischen der inneren Begrenzungsfläche 16 und der äußeren Begrenzungsfläche 17 vollständig ausfüllt. Die Bauplattform 6 weist an ihrem inneren Rand eine Dichtung 19 zur Abdichtung des Spalts zwischen innerer Begrenzungsfläche 16 und Bauplattform 6 auf. Die Bauplattform 6 weist an ihrem äußeren Rand eine Dichtung 18 zur Abdichtung des Spalt zwischen äußerer Begrenzungsfläche 17 und Bauplattform 6 auf. Das Vorsehen einer inneren Begrenzungsfläche 16 ist nicht zwangsläufig notwendig. Ist lediglich eine äußere Begrenzungsfläche 17 vorhanden, weist der Baubehälter 4 keine Ausnahme in seiner Mitte auf und die Bauplattform 6 weist kein Loch in der Mitte auf.

Die Bauplattform 6 ist mit einem Vertikalantrieb 15 verbunden, welcher eine Auf- und Abbewegung der Bauplattform 6 in vertikaler Richtung ermöglicht. Der gesamte Baubehälter 4 ist mit einem Antrieb 20 verbunden, welcher den Baubehälter 4 in eine Bewegung um eine mit der Symmetrieachse des Baubehälters 4 zusammenfallende Drehachse 3 versetzt. Die Verbindung zwischen dem Baubehälter 4 und dem Antrieb 20 ist dabei so gestaltet, daß sie unmittelbar unterhalb des Baubehälters 4 gelöst werden kann, sodaß der Baubehälter 4 aus dem Baubereich 2 entfernt werden kann.

Über dem Baubehälter 4 ist eine Materialauftragevorrichtung 7 zum Aufbringen des auf die Bauplattform aufzubringenden Ma-

terials angeordnet. Diese erstreckt sich in radialer Richtung über die maximale radiale Ausdehnung des Baubehälters. Oberhalb der Materialauftragevorrichtung 7 ist eine Verfestigungseinrichtung in Form eines Lasers 21 und einer Ablenkeinheit 22 angeordnet. Die Ablenkeinheit ist dabei geeignet, den Laserstrahl auf beliebige Orte innerhalb eines Verfestigungsbereichs 11 zu richten. Vorzugsweise handelt es sich bei der Ablenkeinheit um einen xy-Scanner. Der Verfestigungsbereich 11 ist ein relativ zur Lage der Materialauftragevorrichtungen ortsfester Teilbereich innerhalb des Baubereichs 2, der in Höhe der von den Materialauftragevorrichtungen abgelagerten Schicht angesiedelt ist.

Wie in Fig. 1 dargestellt, sind der Laser 21, die Ablenkeinheit 22, der Vertikalantrieb 15 und der Antrieb 20 mit einer Steuerung 23 verbunden. Ferner zeigt Fig. 1 ein gebildetes Objekt 24, das von nicht verfestigtem Material 25 umgeben ist.

Als Nächstes wird ein Betrieb der Vorrichtung der ersten Ausführungsform beschrieben. Die Bauplattform 6 wird als erstes so positioniert, daß ihre Deckfläche bündig mit dem oberen Rand des Baubehälters 4 ist. Danach startet die Steuerung 23 die Bewegung des Baubehälters 4 um die Drehachse 3 mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch den Antrieb 20, wobei die Materialauftragevorrichtung 7 zu verfestigendes Material auf die Bauplattform 6 aufträgt. Danach wird der Belichtungsvorgang durch den Laser gestartet. Dieser verfestigt an selektiven Stellen das Material innerhalb eines ortsfesten Verfestigungsbereichs 11, unter welchem sich der Baubehälter 4 bewegt. Der Materialauftrag durch die Materialauftragevorrichtung 7 erfolgt dergestalt, daß die aufgetragene Schicht beim Eintritt in den von der Laserstrahlung

abgedeckten Verfestigungsbereich 11 eine vorbestimmte Dicke d aufweist und kann ohne Mitwirkung der Steuerung automatisch erfolgen. Desweiteren steuert die Steuerung 23 den Vertikal-antrieb 15 dergestalt, daß während eines vollen Umlaufs des Baubehälters die Bauplattform um den Betrag der Schichtdicke d abgesenkt wird. Während jedes Umlaufs des Baubehälters 4 wird nun im Verfestigungsbereich 11 das an Stellen außerhalb des Verfestigungsbereichs 11 aufgetragene Material verfestigt.

Der Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß während der Verfestigung des aufgetragenen Materials in einem Oberflächenbereich des bzw. der herzustellenden Objekte(s) in anderen Oberflächenbereichen des bzw. der herzustellenden Objekte(s) neues Material aufgetragen wird. Durch die Parallelisierung von Materialauftrag und Verfestigung wird die Produktivität beim Herstellen von Objekten erhöht. Es entfallen Leerlaufzeiten, während derer das Material dosiert, abgelagert und temperiert wird und keine Verfestigung stattfinden kann. Die Relativbewegung der Auftragevorrichtung 7 zum Baubehälter 4 erfolgt dabei stets nur in einer Richtung. Dies hat unter anderem eine höhere Temperaturkonstanz zur Folge, was zu einer Reihe von Vorteilen, wie z.B. einer höheren Verfahrenssicherheit und einer höheren Präzision sowie der Verzugs- und Spannungsfreiheit der Bauteile, führt. Desweiteren ist die Größe und die Anzahl der herzustellenden Objekte nicht durch den Bereich, den die Ablenkeinheit abdeckt, begrenzt. Die Vorrichtung eignet sich daher zur Serienfertigung größerer Stückzahlen von Bauteilen mit gleichen Eigenschaften

Eine zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform darin, daß mehrere Verfestigungseinrichtungen 1 und mehrere Materialauftragevorrichtungen 7 vorhanden sind. Dabei ist jede Verfestigungseinrichtung einer Materialauftragevorrichtung 7 und einem Verfestigungsbereich innerhalb des Baubereichs 2 zugeordnet. Fig. 2 zeigt beispielhaft eine Draufsicht auf eine Vorrichtung mit vier Verfestigungsbereichen 11, 12, 13, 14, die jeweils zwischen den Materialauftragevorrichtungen 7 und 8 bzw. 8 und 9 bzw. 9 und 10 bzw. 10 und 7 vorhanden sind.

Der Betrieb einer Vorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung unterscheidet sich gegenüber dem Betrieb einer Vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform darin, daß die aufgetragene Materialschicht in allen Verfestigungsbereichen gleichzeitig verfestigt wird. Bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung wird beispielsweise das von der Materialauftragevorrichtung 7 aufgetragene Material im Verfestigungsbereich 11 verfestigt, das von der Materialauftragevorrichtung 8 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 12 verfestigt, das von der Materialauftragevorrichtung 9 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 13 verfestigt und das von der Materialauftragevorrichtung 10 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 14 verfestigt. Dabei lagert jede der Materialauftragevorrichtungen das Material mit einer Schichtdicke  $d$  ab. Wenn allgemein  $n$  die Anzahl der vorhandenen Verfestigungsbereiche bezeichnet, so muß während einer Umdrehung des Baubehälters die Bauplattform um die  $n$ -fache Schichtdicke  $n \times d$  abgesenkt werden, wie dies in Fig. 3 für  $n=4$  dargestellt ist. Aus Gründen der Vereinfachung der Darstellung zeigt Fig. 3 lediglich eine der Verfestigungseinrichtungen 1.

Die Verwendung der zweiten Ausführungsform der Erfindung erlaubt gegenüber der ersten Ausführungsform eine weitere Erhöhung der Produktivität, da das Aufbaumaterial an mehreren Stellen des bzw. der aufzubauenden Objekte(s) gleichzeitig verfestigt wird.

#### Abwandlung 1 der ersten und zweiten Ausführungsform

Eine erste Abwandlung der Vorrichtung gemäß der ersten oder zweiten Ausführungsform weist einen Antrieb 20 auf, der in der Lage ist, die Umlaufgeschwindigkeit während des Umlaufs des Baubehälters in Stufen oder kontinuierlich zu ändern.

Bei einem Betrieb der ersten Abwandlung der Vorrichtung der ersten Ausführungsform wird die Umlaufgeschwindigkeit des Baubehälters um die Drehachse 3 erhöht, wenn nicht zu verfestigendes Material einer aufgetragenen Schicht den Verfestigungsbereich 11 durchquert. Dadurch kann die Produktionsgeschwindigkeit erhöht werden, da die Zeitdauer, während der kein Aufbaumaterial verfestigt wird, verkürzt wird.

Vorzugsweise wird die Umlaufgeschwindigkeit des Baubehälters in Abhängigkeit von der Ausdehnung der zu verfestigenden Teilbereiche der aufgetragenen Schicht variiert. Dies führt dazu, daß die aktuelle Umlaufgeschwindigkeit durch die Ausdehnung des größten innerhalb eines der Verfestigungsbereiche selektiv zu verfestigenden Teilbereichs der aufgetragenen Schicht festgelegt wird. Wird stets diese maximal mögliche Umlaufgeschwindigkeit als Umlaufgeschwindigkeit des Baubehälters eingestellt, so führt dies zu einer Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit.

#### Abwandlung 2 der ersten und zweiten Ausführungsform

Bei einer zweiten Abwandlung wird die Betriebsweise dergestalt verändert, daß die Dicke  $d$  der von den Materialauftragevorrichtungen abgelagerten Schicht variiert wird. Dabei wird die Absenkgeschwindigkeit der Bauplattform 6 an die Dicke  $d'$  der in einem Teilbereich des Baubereichs 2 abgelagerten Schicht angepaßt. Damit kann die Schichtdicke an die lokalen geometrischen Anforderungen des aufzubauenden Teils angepaßt werden. Wenn beispielsweise lokal eine erhöhte Detailauflösung benötigt wird, kann eine Schicht oder können mehrere Schichten mit geringerer Dicke aufgetragen werden. Der Bauprozess kann also optimiert werden.

#### Abwandlung 3 der ersten und zweiten Ausführungsform

Bei einer dritten Abwandlung der Vorrichtung der ersten oder zweiten Ausführungsform der Erfindung wird der Antrieb 20 nicht mit dem Baubehälter 4 sondern mit den Verfestigungseinrichtungen 1 und den Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 verbunden. Beim Betrieb behält daher der Baubehälter 4 seine Lage bei, während der Antrieb 20 die Verfestigungseinrichtungen 1 und die Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 eine Bewegung bezüglich des Baubehälters 4 um die Drehachse 3 herum durchführen läßt. Denkbar ist natürlich auch, daß sowohl die Verfestigungseinrichtungen 1 und die Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 als auch der Baubehälter 4 eine Bewegung gegeneinander ausführen.

#### Abwandlung 4 der ersten und zweiten Ausführungsform

Bei einer vierten Abwandlung der ersten und zweiten Ausführungsform kann die Bauplattform nicht kontinuierlich abgesenkt werden, sondern stufenweise, d.h. die Absenkung erfolgt beispielsweise nach vollendeter Verfestigung. Dies hat den Vorteil, daß die Fokussierung des Laserstrahls auf die zu verfestigende Schicht vereinfacht wird, da dadurch die aufgetragenen Schichten parallel zur Horizontalebene sind.

### Dritte Ausführungsform

Die Figuren 4 und 5 zeigen eine dritte Ausführungsform der Erfindung. Die dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der zweiten Ausführungsform darin, daß der Baubehälter 4 durch eine Mehrzahl von Baubehältern ersetzt ist. In den Figuren 4 und 5 wird der Baubereich beispielhaft von vier Baubehältern 4a, 4b, 4c, 4d eingenommen. Jeder der Baubehälter 4a bzw. 4b bzw. 4c bzw. 4d weist dabei eine Bauplattform 6a bzw. 6b bzw. 6c bzw. 6d auf und besitzt eine äußere Begrenzungsfläche 17, eine innere Begrenzungsfläche 16, sowie seitliche Begrenzungsflächen 26. Eine Bauplattform 6a bzw. 6b bzw. 6c bzw. 6d dient jeweils als untere Begrenzung des Baubehälters 4a bzw. 4b bzw. 4c bzw. 4d und erstreckt sich zwischen der äußeren Begrenzungsfläche 17, der inneren Begrenzungsfläche 16, sowie den seitlichen Begrenzungsflächen 26. Der Spalt zwischen der Bauplattform und den Begrenzungsflächen wird analog zu den vorangegangenen Ausführungsformen durch eine Dichtung abgedichtet. Die horizontalen Querschnittsflächen der einzelnen Baubehälter können eine beliebige Gestalt aufweisen und müssen nicht notwendigerweise identisch sein.

Wie aus Figur 4 ersichtlich ist, ist über dem Baubereich 2 eine Mehrzahl von Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 zum Aufbringen von Baumaterial auf die Bauplattformen 4a, 4b, 4c, 4d um die Drehachse 3 herum angeordnet. Vorzugsweise entspricht die Anzahl der Materialauftragevorrichtungen der Anzahl der Baubehälter. Oberhalb der Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 sind mehrere Ablenkeinheiten 22 und/oder Laser 21 angeordnet. Jede der Ablenkeinheiten ist dabei geeignet, den Laserstrahl auf beliebige Orte innerhalb eines der Ablenkeinheit zugeordneten Verfestigungsbereichs zu richten. Dabei ist jede Ablenkeinheit einem Verfestigungsbereich innerhalb des Baubereichs 2 zugeordnet. Vorzugsweise entspricht die Anzahl der Baubehälter der Anzahl der Verfestigungsbereiche. Fig. 4 zeigt beispielhaft eine Draufsicht auf eine Vorrichtung mit vier Verfestigungsbereichen 11, 12, 13, 14, die jeweils zwischen den Materialauftragevorrichtungen 7 und 8 bzw. 8 und 9 bzw. 9 und 10 bzw. 10 und 7 vorhanden sind.

Die Bauplattform 6a bzw. 6b bzw. 6c bzw. 6d ist jeweils mit einem in den Figuren nicht gezeigten Vertikalantrieb 15a bzw. 15b bzw. 15c bzw. 15d verbunden, welcher eine Auf- und Abbewegung der Bauplattform in vertikaler Richtung ermöglicht. Dabei ist jeweils die Verbindung zwischen dem Vertikalantrieb und dem Baubehälter unmittelbar unterhalb des Baubehälters lösbar, sodaß jeder der Baubehälter unabhängig von den anderen Baubehältern aus dem Baubereich 2 entfernt werden kann. Zur Vereinfachung des Aufbaus kann auch ein einziger Vertikalantrieb 15 vorhanden sein, mit dem alle Bauplattformen 6a, 6b, 6c, 6d verbunden sind. Alle Baubehälter 4a, 4b, 4c, 4d sind mit einem Antrieb 20 verbunden, welcher die Baubehälter 4a, 4b, 4c, 4d synchron zueinander in eine Bewegung um die Drehachse 3 herum versetzen kann. Die Laser 21, die Ablenk-



einheiten 22, die Vertikalantriebe 15a, 15b, 15c, 15d, und der Antrieb 20 sind mit einer Steuerung 23 verbunden.

Als Nächstes wird ein Betrieb der Vorrichtung der dritten Ausführungsform beschrieben. Durch die Steuerung 23 wird der Antrieb 20 veranlaßt, die Baubehälter 4a, 4b, 4c, 4d synchron mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Drehachse 3 herum zu bewegen. Die Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 tragen zu verfestigendes Material auf die Bauplattformen 6a, 6b, 6c und 6d auf. Wie bei der zweiten Ausführungsform wird die aufgetragene Materialschicht in allen Verfestigungsbereichen gleichzeitig verfestigt. Bei der in Fig. 4 dargestellten Vorrichtung wird beispielsweise das von der Materialauftragevorrichtung 7 aufgetragene Material im Verfestigungsbereich 11 verfestigt, das von der Materialauftragevorrichtung 8 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 12 verfestigt, das von der Materialauftragevorrichtung 9 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 13 verfestigt und das von der Materialauftragevorrichtung 10 aufgetragene Material wird im Verfestigungsbereich 14 verfestigt. Dabei lagert jede der Materialauftragevorrichtungen das Material mit einer Schichtdicke  $d$  ab. Aus diesem Grunde werden die Antriebe 15a, 15b, 15c, 15d dergestalt gesteuert, daß jede der Bauplattformen 4a, 4b, 4c, 4d während eines Umlaufs des zugehörigen Baubehälters um die vierfache Schichtdicke  $4 \times d$  abgesenkt wird. Wenn allgemein  $n$  die Anzahl der vorhandenen Verfestigungsbereiche bezeichnet, so müssen die jeweiligen Bauplattformen während eines Umlaufs des zugehörigen Baubehälters um die  $n$ -fache Schichtdicke  $n \times d$  abgesenkt werden. Der Vorteil der dritten Ausführungsform ergibt sich durch eine erhöhte Flexibilität. Die Vorrichtung kann mit nur einer Teilmenge der Baubehälter, sogar mit nur einem Baubehälter

betrieben werden. Dies gestattet in Anpassung an die Größe der zu verfestigenden Bauteile eine Verkleinerung des Bauvolumens, wodurch die Menge des einzusetzenden, nicht zu verfestigenden Ausgangsmaterials reduziert wird. Dies ist insbesondere von Bedeutung beim Verarbeiten von Thermoplasten, wo nicht verbrauchtes Ausgangsmaterial zwar wiederverwendbar ist, dies aber infolge einer thermischen Schädigung nur mit einem erhöhtem Einsatz von frischem Material als Beimischung möglich ist. Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, daß bei vorzeitiger Fertigstellung einzelner Bauteile die zugehörigen Baubehälter vorzeitig entnommen werden können und durch neue Baubehälter ersetzt werden können. In den neuen Baubehältern erfolgt dann schon der Bau neuer Bauteile, während die Bauteile in den restlichen Baubehältern fertiggestellt werden, wodurch ein Produktivitätszuwachs erzielt wird.

#### Abwandlung 1 der dritten Ausführungsform

Optional können die Bauplattformen nicht kontinuierlich abgesenkt werden, sondern stufenweise, d.h. die Absenkung erfolgt beispielsweise nach vollendeter Verfestigung in allen Verfestigungsbereichen. Dies hat den Vorteil, daß die Fokussierung des Laserstrahls auf die zu verfestigende Schicht vereinfacht wird, da dadurch die aufgetragenen Schichten parallel zur Horizontalebene sind.

#### Abwandlung 2 der dritten Ausführungsform

Bei einer zweiten Abwandlung der dritten Ausführungsform kann die Schichtdicke der aufgetragenen Schicht in den unterschiedlichen Baubehältern unterschiedlich gewählt werden. Dies geht Hand in Hand mit einer unterschiedlichen Absenkgeschwindigkeit der Bauplattformen in den unterschiedlichen

Baubehältern. Dadurch können parallel Objekte mit unterschiedlichen Schichtdicken hergestellt werden.

#### Abwandlung 3 der dritten Ausführungsform

Analog zur oben beschriebenen Abwandlung 2 der ersten und zweiten Ausführungsform ist es auch möglich, die Dicke  $d$  der von den Materialauftragevorrichtungen abgelagerten Schicht innerhalb eines Baubehälters oder über mehrere Baubehälter hinweg zu variieren. Dadurch ist es möglich, die Schichtdicke an die lokalen geometrischen Anforderungen des aufzubauenden Teils, beispielsweise wenn lokal eine erhöhte Detailauflösung benötigt wird, anzupassen. Der Bauprozess kann also optimiert werden.

#### Abwandlung 4 der dritten Ausführungsform

In einer vierten Abwandlung führen die Baubehälter nicht eine Rotationsbewegung bezüglich einer Drehachse 3 aus. Stattdessen führt ein Führungsantrieb 27 die Baubehälter lediglich auf einer geschlossenen, nicht notwendigerweise kreisförmigen Bahn synchron um die Drehachse 3 herum. Wenn die Vorrichtung  $n$  Materialauftragevorrichtungen und  $n$  Verfestigungsbereiche aufweist, entspricht die Bahn vorzugsweise dem Rand eines  $n$ -Ecks. Optional führt jeder Baubehälter auf seiner Bahn rund um die Drehachse 3 eine zusätzliche Drehbewegung um eine durch ihn hindurchgehende, zur Drehachse 3 parallele Drehachse 3' aus.

#### Abwandlung 5 der dritten Ausführungsform

Bei einer fünften Abwandlung der dritten Ausführungsform weist analog zur oben beschriebenen Abwandlung 1 die Vorrichtung einen Antrieb 20 auf, der in der Lage ist, die Rotationsgeschwindigkeit während der Rotation des Baubehälters in Stufen oder kontinuierlich zu ändern. Dadurch kann die aktuelle Rotationsgeschwindigkeit an die Ausdehnung des größten innerhalb eines der Verfestigungsbereiche selektiv zu verfestigenden Teilbereichs der aufgetragenen Schicht angepaßt werden. Wird stets diese maximal mögliche Rotationsgeschwindigkeit als Rotationsgeschwindigkeit des Baubehälters eingestellt, so führt dies zu einer Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit.

#### Abwandlung 6 der dritten Ausführungsform

Bei einer sechsten Abwandlung der dritten Ausführungsform wird analog zur oben beschriebenen Abwandlung 3 der Antrieb 20 nicht mit den Baubehältern 4a, 4b, 4c, 4d, sondern mit den Ablenkeinheiten 22 und den Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 verbunden. Beim Betrieb behalten daher die Baubehälter 4a, 4b, 4c, 4d ihre Lage bei, während der Antrieb 20 die Ablenkeinheiten 22 und die Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 eine Rotationsbewegung um die Drehachse 3 durchführen läßt. Denkbar ist natürlich auch, daß sowohl die Ablenkeinheiten 22 und die Materialauftragevorrichtungen 7, 8, 9, 10 als auch die Baubehälter 4a, 4b, 4c, 4d gegeneinander rotieren.

Natürlich sind auch beliebige Kombinationen der verschiedenen Abwandlungen der dritten Ausführungsform möglich.

Bei allen Ausführungsformen können statt des Lasers und der Ablenkeinheit auch andere Strahlungsquellen, wie z.B. ein

Elektronenstrahl, Mikrowellenstrahlung, eine Lampe in Verbindung mit einer Maske, LEDs und andere Belichtungsarrays usw. oder andere Verfestigungsvorrichtungen, wie z.B. Binder- und Klebstoffaufbringvorrichtungen verwendet werden.

Die oben beschriebene Vorrichtung und die oben beschriebenen Verfahren können ferner bei verschiedenen generativen Fertigungsverfahren, wie z. B. dem Selektiven Lasersintern, insbesondere von Polymeren, der Stereolithographie, dem LOM-Verfahren (Laminated Object Manufacturing), dem FDM-Verfahren (Fused Model Deposition) oder dem dreidimensionalen Drucken (Verfestigen von pulverförmigem Material mittels eines Klebers oder mittels chemischer Reaktion, insbesondere mittels der Verwendung von Mehrkomponentensystemen aus Binder/Härter oder mittels des Aufschmelzens von Thermoplast), bei denen das dreidimensionale Objekt schichtweise hergestellt, indem Schichten eines Aufbaumaterials aufgetragen und an den dem Querschnitt des Objekts entsprechenden Stellen miteinander verbunden werden, eingesetzt werden.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objektes mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, bei dem das Objekt schichtweise aus einem Aufbaumaterial hergestellt wird, mit einem Träger (4), einer Materialauftragevorrichtung (7) zum Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht und einer Einrichtung (1) zum Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht in einem Verfestigungsbereich (11),  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegbar sind, daß während des Verbindens der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht die zuvor aufgetragene Schicht und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander bewegt werden.

2. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objektes mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, bei dem das Objekt schichtweise aus einem Aufbaumaterial hergestellt wird, mit einem Träger (4), einer Materialauftragevorrichtung (7) zum Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht und einer Einrichtung (1) zum Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht in einem Verfestigungsbereich (11),  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegbar sind, daß das Verbinden einer

aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht ohne Unterbrechung der Materialzufuhr erfolgt.

3. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objektes mittels eines generativen Fertigungsverfahren, bei dem das Objekt schichtweise aus einem Aufbaumaterial hergestellt wird, mit einem Träger (4), einer Materialauftragevorrichtung (7) zum Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht und einer Einrichtung (1) zum Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht in einem Verfestigungsbereich (11),  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegbar sind, daß die relative Bewegung stets nur in einer Richtung erfolgt und während des Materialauftrag relativ zueinander derart bewegt werden, daß die relative Bewegung stets nur in einer Richtung erfolgt.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der der Träger (4) relativ zu der Materialauftragevorrichtung (7) in einer Rotationsbewegung mit Vorschub in Richtung der Rotationsachse bewegbar ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der der Vorschub kontinuierlich oder stufenförmig erfolgt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, bei der der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung so bewegbar sind, daß sich der Träger relativ zu der Materialauftragevorrichtung (7) während einer kompletten Umdrehung um das Maß einer Schichtdicke entfernt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der sich der Träger (4) bewegt und die Materialauftragevorrichtung (7) und die Einrichtung (1) zum Verbinden der Schichten stillstehen.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der der Träger (4) stillsteht und die Materialauftragevorrichtung (7) und die Einrichtung (1) zum Verbinden sich bewegen.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, bei der die Geschwindigkeit und/oder der Vorschub in Richtung der Rotationsachse variierbar sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei der die Umfangsgeschwindigkeit der Rotationsbewegung variierbar ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, bei der mehrere Verfestigungsbereiche (11) vorgesehen sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der mehrere Träger (4) vorgesehen sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei der der Vorschub der Träger unabhängig steuerbar ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei der die Träger eine Rotationsbewegung auf einer nichtkreisförmigen Bahn, bevorzugt auf einem n-Eck, wenn n Träger vorgesehen sind, ausführen.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei der mehrere Materialauftragevorrichtungen (7) vorhanden sind.



16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, bei der jedem Verfestigungsbereich (11) eine Einrichtung zum Verbinden (1) der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht zugeordnet ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei der das Aufbaumaterial pulverförmig ist und daß die Einrichtung zum Verbinden (1) der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht des Aufbaumaterials eine Strahlungsquelle, bevorzugt einen Laser, zum Sintern des Pulvers oder eine Einrichtung zum Verfestigen des Pulvers mittels eines Klebstoffs

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei der Träger (4) Teil eines Behälters zum Aufnehmen des Aufbaumaterials ist.

19. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts durch ein generatives Fertigungsverfahren, bei dem das Objekt aus einem Aufbaumaterial schichtweise hergestellt wird durch Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht mittels einer Materialauftragevorrichtung (7) und Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß

der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegt werden, daß während des Verbindens der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht die zuvor aufgetragene Schicht und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander bewegt werden.

20. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts durch ein generatives Fertigungsverfahren, bei dem das Objekt aus einem Aufbaumaterial schichtweise hergestellt wird durch Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht mittels einer Materialauftragevorrichtung (7) und Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegt werden, daß das Verbinden einer aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht ohne Unterbrechung der Materialzufuhr erfolgt.

21. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts durch ein generatives Fertigungsverfahren, bei dem das Objekt aus einem Aufbaumaterial schichtweise hergestellt wird durch Auftragen von Schichten des Aufbaumaterials auf einen Träger (4) oder eine zuvor aufgetragene Schicht mittels einer Materialauftragevorrichtung (7) und Verbinden der aufgetragenen Schicht mit einer zuvor aufgetragenen Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (4) und die Materialauftragevorrichtung (7) relativ zueinander derart bewegt werden, daß die relative Bewegung stets nur in einer Richtung erfolgt und während des Materialauftrag relativ zueinander bewegt werden.

22. Verfahren nach einem der Anspruch 19 bis 21 mit den Schritten

- (a) schichtweises Auftragen des Aufbaumaterials und
- (b) Verbinden des aufgetragenen Aufbaumaterials einer Schicht mit dem Aufbaumaterial der zuvor aufgetragenen Schicht,

dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte (a) und (b) gleichzeitig, jedoch stets in voneinander verschiedenen Bereichen stattfinden.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, bei dem mindestens zwei Objekte gleichzeitig hergestellt werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23 zu dessen Durchführung eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18 verwendet wird.

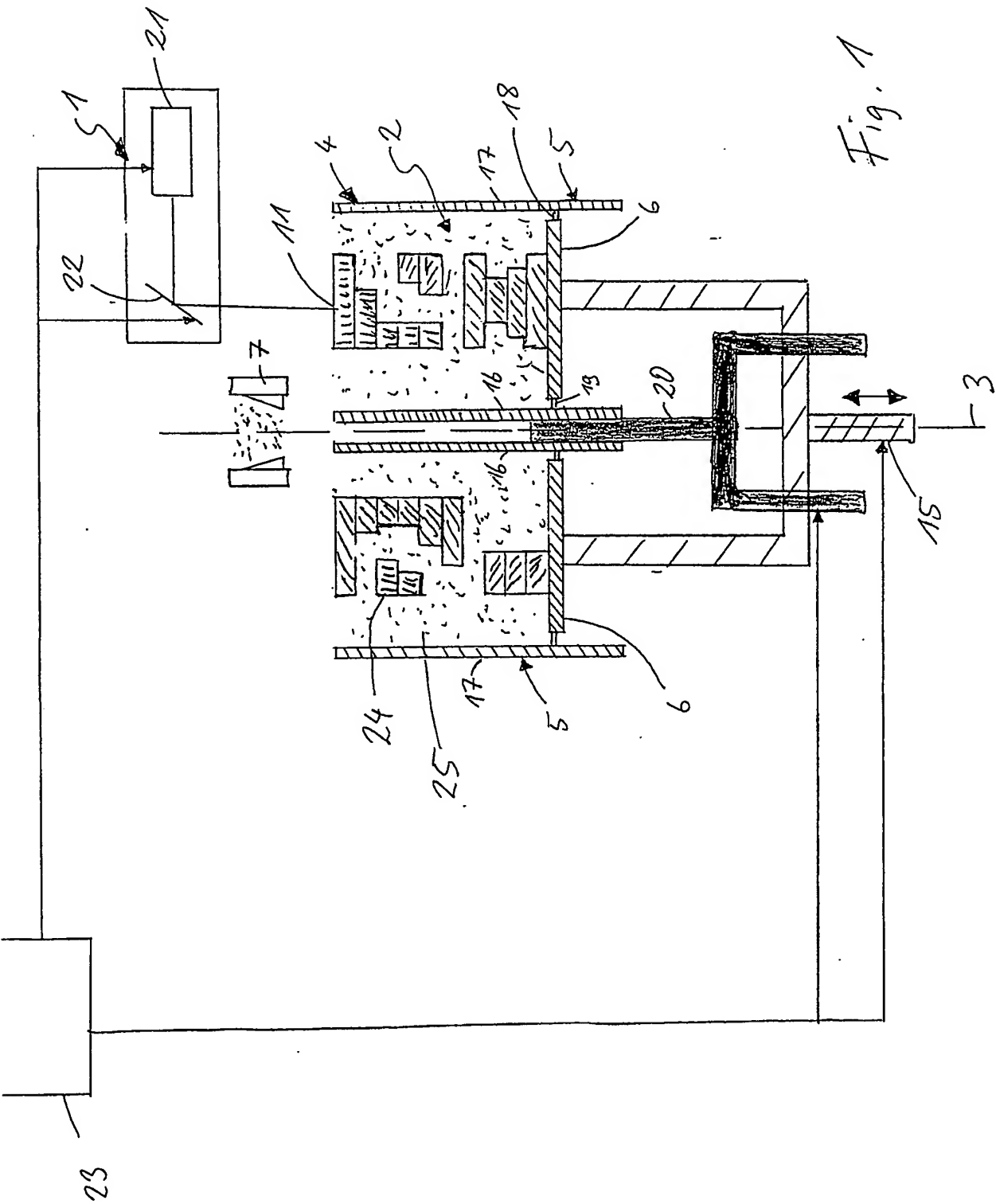
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, bei dem die Relativbewegung zwischen der Materialauftragvorrichtung (7) und dem Träger (4) derart erfolgt, daß sich ein Punkt auf dem Träger auf einer Spiralbahn bewegt.

26. Verfahren nach Anspruch 25, bei dem eine Spiralwindung kreisförmig, n-eckig, oval oder unregelmäßig gekrümmt ist.

27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abschnitt der Spiralbahn in Richtung der Spiralachse linear verläuft.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 27, bei dem die Schicht des Aufbaumaterials mit einer im Baubereich variierenden Dicke aufgetragen wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 28, bei dem das Verfahren zum generativen Herstellen eines dreidimensionalen Objekts das Lasersinterverfahren oder ein 3D-Druckverfahren ist.



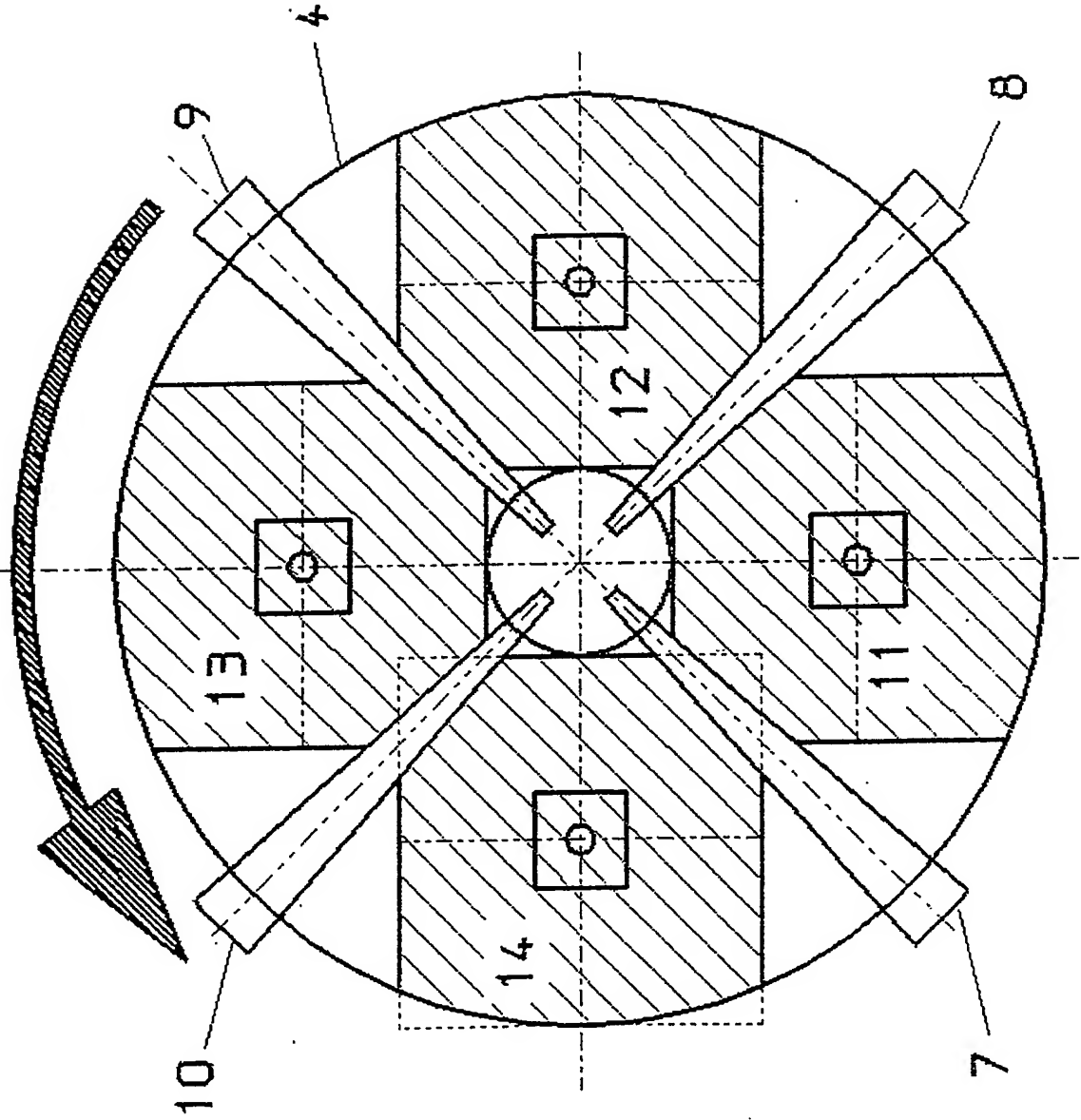
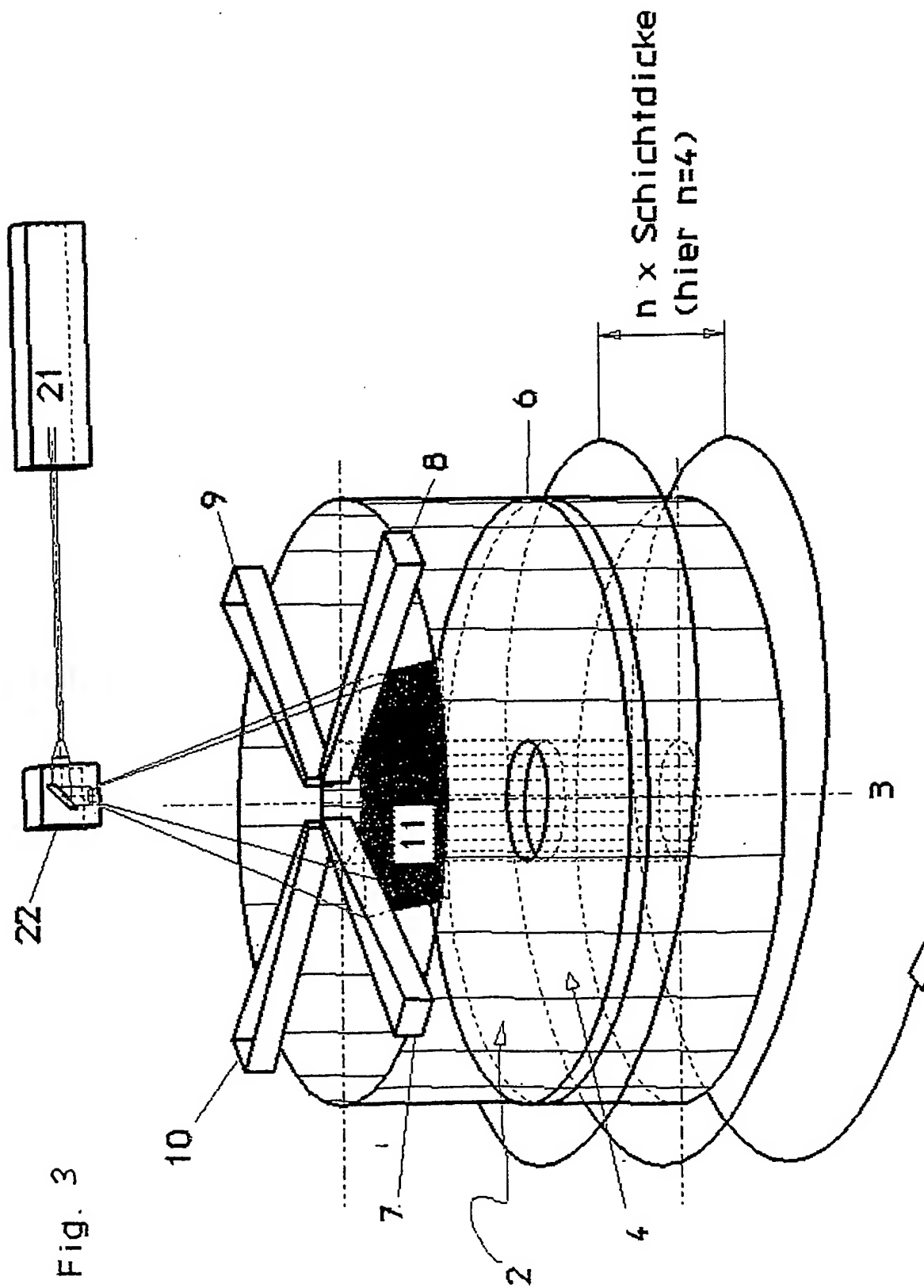
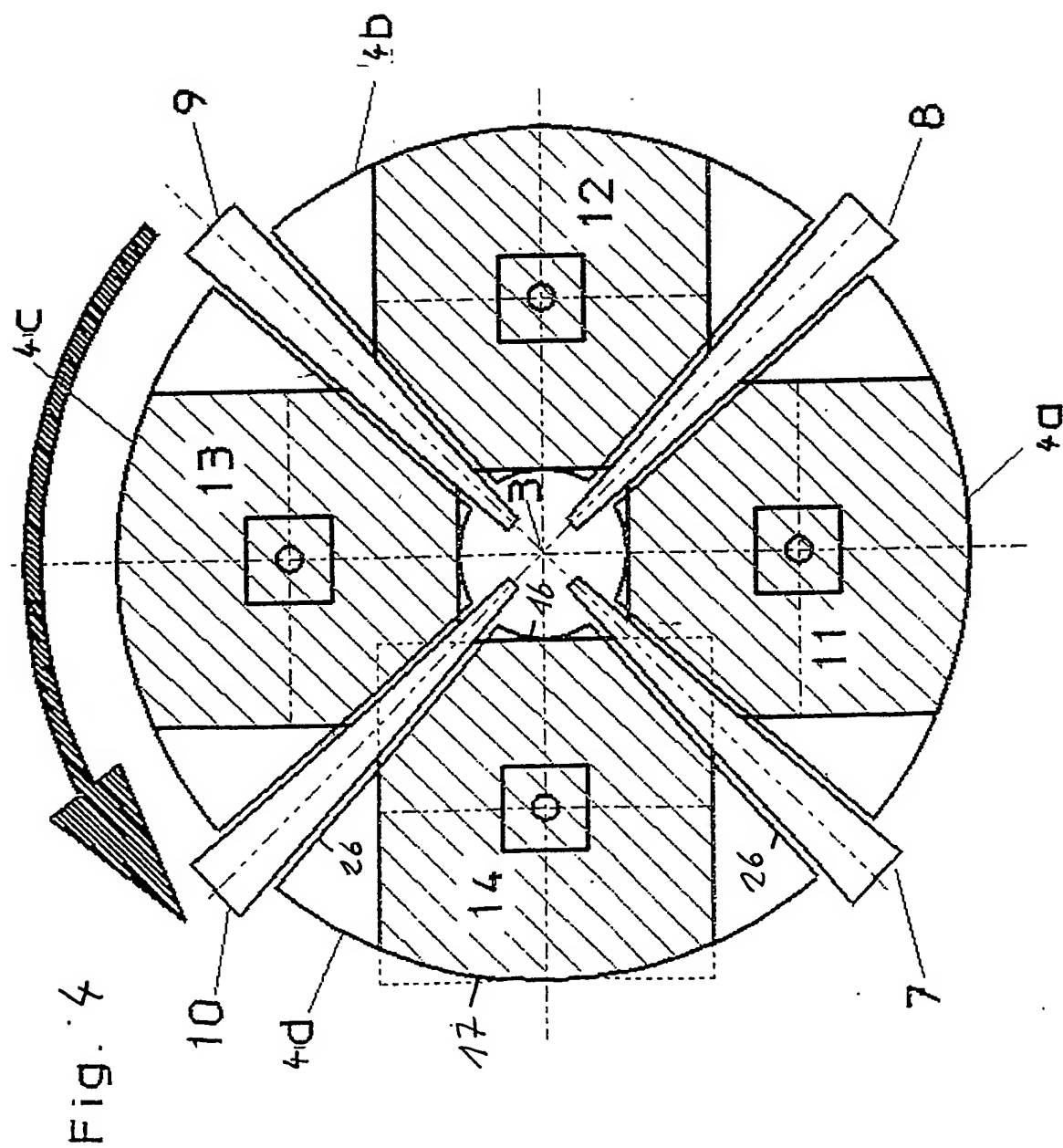
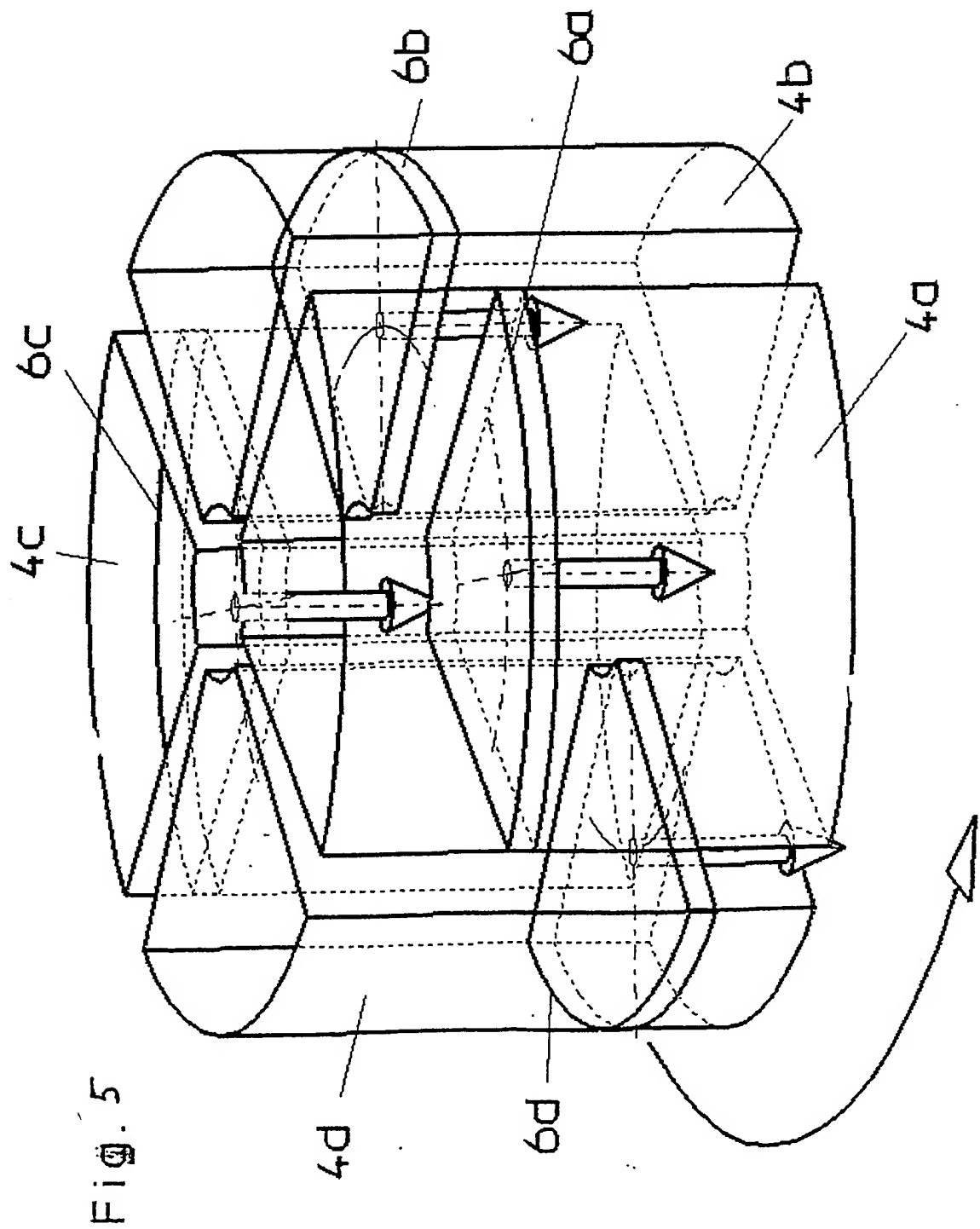


Fig. 2









# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/08520

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B29C67/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 323 756 A (BROWN CLYDE O ET AL) 6 April 1982 (1982-04-06)  column 2, line 26 - line 68; figure 1 column 3, line 63 - line 64; figures 4,6 column 4, line 35 - line 40 column 5, line 5 -column 6 ---	1-3,7,8, 17, 19-22, 24,29
X	FR 2 166 526 A (BOUDET JEAN) 17 August 1973 (1973-08-17)  page 2, line 12 -page 3, line 7 page 3, line 30 -page 4, line 19; figures 1,2 page 4, line 27 -page 5, line 8; figure 3 --- -/-	1-3,7,8, 19-22, 24,29



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 November 2003

Date of mailing of the international search report

13/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pierre, N

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/08520

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2001/050448 A1 (KUBO NAOKI ET AL) 13 December 2001 (2001-12-13)  page 6, paragraph 91 -page 7, paragraph 107; figures 7,8	1,2,8, 17,19, 20,22, 24,29
A	DE 199 52 998 A (EBERT ROBBY ;EXNER HORST (DE)) 17 May 2001 (2001-05-17) column 4, line 68 -column 6, line 14; figure 1 column 6, line 58 -column 8, line 14; figure 2	1-29
A	DE 299 07 262 U (EOS ELECTRO OPTICAL SYST) 15 July 1999 (1999-07-15) claims 1,13,14; figure 1	1-29

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/08520

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4323756	A	06-04-1982	NONE	
FR 2166526	A	17-08-1973	FR 2166526 A5 DE 2263777 A1	17-08-1973 05-07-1973
US 2001050448	A1	13-12-2001	JP 2001334581 A	04-12-2001
DE 19952998	A	17-05-2001	DE 19952998 A1	17-05-2001
DE 29907262	U	15-07-1999	DE 29907262 U1	15-07-1999

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/08520

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B29C67/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B29C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 323 756 A (BROWN CLYDE O ET AL) 6. April 1982 (1982-04-06)  Spalte 2, Zeile 26 - Zeile 68; Abbildung 1 Spalte 3, Zeile 63 - Zeile 64; Abbildungen 4, 6 Spalte 4, Zeile 35 - Zeile 40 Spalte 5, Zeile 5 - Spalte 6	1-3, 7, 8, 17, 19-22, 24, 29
X	FR 2 166 526 A (BOUDET JEAN) 17. August 1973 (1973-08-17)  Seite 2, Zeile 12 - Seite 3, Zeile 7 Seite 3, Zeile 30 - Seite 4, Zeile 19; Abbildungen 1, 2 Seite 4, Zeile 27 - Seite 5, Zeile 8; Abbildung 3	1-3, 7, 8, 19-22, 24, 29

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. November 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/11/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pierre, N

## C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2001/050448 A1 (KUBO NAOKI ET AL) 13. Dezember 2001 (2001-12-13)  Seite 6, Absatz 91 -Seite 7, Absatz 107; Abbildungen 7,8	1,2,8, 17,19, 20,22, 24,29
A	DE 199 52 998 A (EBERT ROBBY ;EXNER HORST (DE)) 17. Mai 2001 (2001-05-17) Spalte 4, Zeile 68 -Spalte 6, Zeile 14; Abbildung 1 Spalte 6, Zeile 58 -Spalte 8, Zeile 14; Abbildung 2	1-29
A	DE 299 07 262 U (EOS ELECTRO OPTICAL SYST) 15. Juli 1999 (1999-07-15) Ansprüche 1,13,14; Abbildung 1	1-29

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/08520

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4323756	A	06-04-1982	KEINE		
FR 2166526	A	17-08-1973	FR DE	2166526 A5 2263777 A1	17-08-1973 05-07-1973
US 2001050448	A1	13-12-2001	JP	2001334581 A	04-12-2001
DE 19952998	A	17-05-2001	DE	19952998 A1	17-05-2001
DE 29907262	U	15-07-1999	DE	29907262 U1	15-07-1999

**Apparatus and Method to Produce a Three-Dimensional  
Object By Means of a Generative Production Method**

This invention relates to an apparatus and method to produce a three-dimensional object by means of a generative production method.

In generative production methods, e.g. selective laser sintering, stereolithography, Laminated Object Manufacturing (LOM), Fused Model Deposition (FDM), three-dimensional printing (solidification of powderous material by means of a binding agent or a chemical reaction, especially the use of multi-component systems comprised of binders/hardeners or by means of fusing thermoplasts), the three-dimensional object is produced in layers, whereby layers of a build-up material are applied and bonded to each other at points corresponding to a cross-section of the object.

An apparatus for the layered production of a three-dimensional object by means of selective laser sintering

is known for example from EP 0 734 842. It describes the application of an initial layer of a powdery material on a lowerable support and then irradiated at the points corresponding to the object so that the material is sintered together there. Then, the support is lowered and a second layer is applied to the first layer and again selectively sintered, thereby bonding with the first layer. The object is thereby formed in layers.

In the application of layers of a build-up material, this application does not refer to an independent flowing of material into the space between the container floor and the support as it is described in DE 199 57 370, for example.

In the production of objects, conventional laser sintering machines perform basic procedural steps such as dosing, coating, tempering, and irradiating in a serial manner or only perform this somewhat simultaneously due to operating principles. This causes the process to have long periods in which no material solidifies. The result is reduced productivity of a machine compared to a theoretical production maximum that could result from available laser power as well as the sensitivity of the material to be solidified. A similar concept applies for apparatuses that are known for the other aforementioned generative production methods.

The object of this invention is to increase the production speed of an apparatus used in the layered production of three-dimensional objects as well as the productivity of a related method.



This object is solved by the apparatus characterized in claim 1 and the method characterized in claim 17.

Further improvements of the invention are characterized in the sub-claims.

Additional characteristics and usefulness of the invention become apparent in the description of the embodiments using the drawings.

Fig. 1 depicts a side view of an apparatus according to an initial embodiment of this invention.

Fig. 2 depicts a top view of an apparatus according to a second embodiment of this invention.

Fig. 3 depicts a foreshortened representation of an apparatus according to a second embodiment of the invention.

Fig. 4 depicts a top view of an apparatus according to a third embodiment of this invention.

Fig. 5 depicts a foreshortened representation of an apparatus according to a third embodiment of the invention.

#### First Embodiment

Fig. 1 depicts a cross-sectional view of an apparatus for the layered production of three-dimensional objects according to an initial embodiment of the invention. The apparatus comprises a building area 2 having a cross-section

that is not necessarily circular. It is occupied by a building container 4 that opens upward with an outer border area 17 and an inner border area 16. By providing the interior border area 16, the building space defined by the outer border area 17 comprises a recess. A building platform 6 serves as a lower boundary of the building container 4 and is designed in such a manner that it completely fills the area between the inner border area 16 and the outer border area 17. The building platform 6 comprises at its inner edge a seal 19 to seal off the gap between the interior border area 16 and the building platform 6. Building platform 6 comprises on its outer edge a seal 18 to seal off the gap between the out border area 17 and building platform 6. Providing an inner border area 16 is not required. If there is only an outer border area 17, building container 4 comprises no recesses in its center and the building platform 6 comprises no hole in its center.

Building platform 6 is connected with a vertical drive 15 that permits an upward and downward movement of building platform 6 in a vertical direction. The entire building container 4 is connected to a drive 20 that sets building container 4 in a motion about an axis of rotation 3 that coincides with the symmetrical axis of building container 4. The connection between the building container 4 and drive 20 is designed in such a manner that it can be disengaged directly below building container 4 so that building container 4 can be removed from the building area 2.

A material application device 7 is arranged above building container 4 to apply the material to be applied on the building platform.

It extends in a radial direction beyond the maximum radial dimension of the building container. A solidification device in the form of a laser 21 and a deflection unit 22 are arranged above the material application device 7. The deflection unit is suited to direct the laser beam to any location within a solidification area 11. Preferentially, the deflection unit is an xy scanner. The solidification area 11 is a sub-area stationary relative to the position of the material application device within building area 2, which is placed at the height of the layer deposited by the material application device.

As depicted in Fig. 1, the laser 21, deflection unit 22, vertical drive 15 and drive 20 are connected to a control unit 23. In addition, Fig. 1 depicts a formed object 24 that is surrounded by non-solidified material 25.

Operation of the apparatus according to the first embodiment will be described next. Building platform 6 is first positioned in such a manner that its top surface is aligned with the upper edge of building container 4. Then, control unit 23 begins the motion of building container 4 about the axis of rotation 3 with uniform speed by means of drive 20, whereby the material application device 7 applies the material to be solidified on the building platform 6. Then the irradiation process is initiated by the laser. It solidifies the material at selected points within a stationary solidification area 11, under which building container 4 moves. Material application by the material application device 7 results in such a way that the applied layer has a pre-specified thickness  $d$  when entering solidification area 11 covered by the laser radiation

and can result automatically without input from the control unit. In addition, the controller 23 controls the vertical drive 15 in such a way that during a complete revolution of the building container the building platform is dropped by the amount of the layer thickness  $d$ . During each revolution of building container 4, the material applied at points outside of the solidification area 11 is solidified in solidification area 11 [sic].

The advantage of this embodiment lies in that during the solidification of the applied material in a surface area of the object(s) to be produced, new material can be applied in other surface areas of the object(s) to be produced. The simultaneous operations of material application and solidification increase the productivity during the manufacture of objects. Laser operation times during which the material is dosed, deposited, and tempered, and no solidification can occur, are done away with. The relative motion of application device 7 to building container 4 is thereby always in one direction. Among other things, this results in a higher temperature constancy, which results in a series of advantages, such as e.g. higher process reliability and greater precision as well as components that are free of distortion and stress. Furthermore, the size and the quantity of the objects to be produced are not limited by the area covered by the deflection unit. The apparatus is thus suited for the production of larger quantities of components with the same properties.

## Second Embodiment

A second embodiment differentiates itself from the first in that it comprises several solidification devices 1 and several material application devices 7. Each solidification device is thereby assigned to a material application device 7 and a solidification area within building area 2. Fig. 2 depicts as an example a top view of an apparatus with four solidification areas 11, 12, 13, 14 that exist between the material application devices 7 and 8, or 8 and 9, or 9 and 10, or 10 and 7.

The operation of an apparatus according to the second embodiment of the invention differentiates itself from operation of an apparatus according to the first embodiment in that the applied material layer is solidified in all solidification areas at the same time. In the apparatus depicted in Fig. 1, for example, the material applied by the material application device 7 is solidified in the solidification area 11, the material applied by the material application device 8 is solidified in solidification area 12, the material applied by the material application device 9 is solidified in solidification area 13, and the material applied by the material application device 10 is solidified in solidification area 14. Each of the material application devices thereby deposits the material with layer thickness  $d$ . If generally  $n$  describes the number of existing solidification areas, the building platform must be lowered by the  $n^{\text{th}}$  layer thickness  $n \times d$  during the rotation of the building container, as this is depicted in Fig. 3 for  $n=4$ . To simplify the drawing, Fig. 3 only depicts one of the solidification devices 1.

Compared to the first embodiment, using the second embodiment of the invention permits a further increase in productivity since the build-up material is solidified simultaneously at several points of the object(s) to be built up.

#### Modification1 of the First and Second Embodiments

A first modification of the apparatus according to the first or second embodiments comprises a drive 20 that is able to incrementally or continuously change the rotational velocity during rotation of the building container.

During operation of the first modification of the apparatus of the first embodiment, the rotational speed of the building container about axis of rotation 3 is increased if not-to-be-solidified material crosses through an applied layer of solidification area 11. This enables the production speed to be increased, since the time during which no build-up material is solidified, is shortened.

Preferentially, the rotational speed of the building container is varied as a function of the dimension of the sub-areas to be solidified of the applied layer. This results in that the actual rotational speed is determined by the dimension of the largest sub-area to be selectively solidified of the applied layer within one of the solidification areas. If this maximum possible rotational speed is always set as the rotational speed of the building container, then this results in an increase of the production speed.

### Modification 2 of the First and Second Embodiments

In a second modification, the operating method is changed in such a way that the thickness  $d$  of the layer deposited by the material application devices is varied. In doing so, the lowering speed of building platform 6 is adjusted to thickness  $d'$  of the layer deposited in a sub-area of building area 2. Thus, the layer thickness can be adjusted to the local geometric requirements of the component to be built up. For example, if increased detail resolution is required locally, a layer or several layers of less thickness can be applied. Thus, the building process can be optimized.

### Modification 3 of the First and Second Embodiments

In a third modification of the apparatus of the first or second embodiments of the invention, drive 20 is not connected with building container 4 but with solidification device 1 and the material application devices 7, 8, 9, 10. During operation, building container 4 thus keeps its position, while drive 20 allows the solidification device 1 and the material application devices 7, 8, 9, 10 to execute a movement in relation to building container 4 around the axis of rotation 3. It is obviously also conceivable that the solidification device 1 and the material application devices 7, 8, 9, 10 as well as building container 4 can execute a motion against each other.

### Modification 4 of the First and Second Embodiments

In a fourth modification of the first and second embodiments, the building platform is not lowered continuously, but incrementally, i.e. lowering takes place after complete solidification, for example. The advantage is that the focusing of the laser beam on the layer to be solidified is simplified since thereby the applied layers are parallel to the horizontal plane.

### Third Embodiment

Figs. 4 and 5 depict a third embodiment of the invention. The third embodiment differentiates itself from the second embodiment in that the building container 4 is replaced by a plurality of building containers. For example, in Figs. 4 and 5, the building area is occupied by four building containers 4a, 4b, 4c, 4d. Each of the building containers 4a or 4b or 4c or 4d thereby comprises a building platform 6a or 6b or 6c or 6d and has an outer border area 17, an inner border area 16, as well as a lateral border area 26. A building platform 6a, or 6b, or 6c, or 6d serves as a lower boundary of the building container 4a, 4b, 4c, or 4d and extends between the outer border areas 17, the inner border area 16, as well as the lateral border area 26. The gap between the building platform and the border areas is sealed by a seal in the same way as in the previous embodiments. The horizontal cross-sectional surfaces of the individual building containers can have any form and must not necessarily be identical.



As can be seen in Fig. 4, a plurality of material application devices 7, 8, 9, 10 are arranged above building area 2 to apply building material on building platforms 4a, 4b, 4c, 4d around axis of rotation 3. Preferentially, the number of material application devices corresponds to the number of building containers. Several deflection units 22 and/or lasers 21 are arranged above the material application devices 7, 8, 9, 10. Each of the deflection units is thus suited to direct the laser beam to any place within one of the solidification areas assigned to the deflection unit. Accordingly, each deflection unit is assigned to a solidification area within the building area 2. Preferentially, the number of building containers corresponds to the number of solidification areas. Fig. 4 depicts for example a top view on to an apparatus with four solidification areas 11, 12, 13, 14 that each exist between the material application devices 7 and 8, or 8 and 9, or 9 and 10, or 10 and 7.

Building platforms 6a or 6b or 6c or 6d are each connected to a vertical drive 15a or 15b or 15c or 15 d not depicted in the drawings, that allow an upward and downward movement of the building platform in a vertical direction. The connection between the vertical drive and the building container can thereby be disengaged directly beneath the building container so that each of the building containers can be removed from the building area independently of the other building containers. To simplify the set-up, a single vertical drive 15 may also be present with which all building platforms 6a, 6b, 6c, 6d are connected. All building containers 4a, 4b, 4c, 4d are connected to a drive 20 which can place building containers 4a, 4b, 4c, 4d into motion synchronously to each

other about axis of rotation 3. Lasers 21, deflection units 22, vertical drives 15a, 15b, 15c, 15d and drive 20 are connected to a controller 23.

Operation of an apparatus of the third embodiments shall be described next. By means of controller 23, drive 20 is activated to move building containers 4a, 4b, 4c, 4d in a synchronous manner at a uniform speed about axis of rotation 3. The material application devices 7, 8, 9, 10 apply the material to be solidified on building platforms 6a, 6b, 6c, and 6d. As in the second embodiment, the applied material layer is solidified simultaneously in all solidification areas. In the apparatus depicted in Fig. 4 for example, the material applied by the material application device 7 is solidified in solidification area 11, the material applied by the material application device 8 is solidified in solidification area 12, the material applied by the material application device 9 is solidified in solidification area 13, and the material applied by the material application device 10 is solidified in solidification area 14. Each of the material application devices thereby deposits the material to a layer thickness  $d$ . For this reason, the drives 15a, 15b, 15c, 15d are controlled in such a way that each of the building platforms 4a, 4b, 4c, 4d is lowered during a rotation of the associated building container by four times the layer thickness  $4 \times d$ . If generally  $n$  designates the number of existing solidification areas, then each of the building platforms must be lowered by the  $n^{\text{th}}$  layer thickness  $n \times d$  during a revolution of the associated building container. The advantage of the third embodiment is its increased flexibility. The apparatus can be operated with only a partial quantity of the building containers or even with only one building container.

This permits a reduction of the building volume as an adjustment to the size of the components to be solidified, whereby the quantity of the output material to be used and not to be solidified is reduced. This is particularly significant when processing thermoplasts, where non-utilized output material is indeed re-usable, but is only possible with an increased use of fresh material as additive. Another advantage results from the fact that when producing individual components ahead of time, the associated building containers can be removed ahead of time and replaced by new building containers. The building of new components then takes place in the new building containers, while the components in the remaining building containers are being completed, thereby achieving an increase in productivity.

#### Modification 1 of the Third Embodiment

As an option, the building platforms do not have to be lowered continuously, but incrementally, i.e. lowering takes place for example after complete solidification in all solidification areas. This has the advantage that focusing of the laser beam on the layer to be solidified is simplified, since the applied layers are thereby parallel to the horizontal plane.

#### Modification 2 of the Third Embodiment

In a second modification of the third embodiment, the layer thickness of the applied layer in the various building containers can be variably selected. This goes hand in hand with a variable lowering speed of the building platform in the various

building containers. Objects with various layer thicknesses can thereby be produced simultaneously.

#### Modification 3 of the Third Embodiment

Similar to the aforementioned modification 2 of the first and second embodiments, it is also possible to vary the thickness  $d$  of the layer deposited by the material application devices within a building container or among several building containers. It is thereby possible to adjust the layer thickness to the local geometric requirements of the component to be built up, for example when increased detail resolution is required locally. Thus, the building process can be optimized.

#### Modification 4 of the Third Embodiment

In a fourth modification, the building containers do not execute a rotational movement in relation to axis of rotation 3. Instead, a master drive 27 drives the building container only on a closed, not necessarily circular, track around axis of rotation 3 in a synchronous manner. If the apparatus comprises  $n$  material application devices and  $n$  solidification points, the track preferentially corresponds to the outline of an  $n$ -sided figure. Optionally, each building container executes on its track about axis of rotation 3 an additional rotational movement about an axis of rotation 3' parallel to axis of rotation 3 and penetrating it.

#### Modification 5 of the Third Embodiment

In a fifth modification of the third embodiment, the apparatus has a drive 20 similar to the aforementioned modification 1 that is able to change the rotational velocity during the rotation of the building container in increments or continuously. The actual rotational velocity can thereby be matched to the dimension of the largest sub-areas of the applied layers to be solidified selectively within a solidification area. If this maximum possible rotational velocity is set as the rotational velocity of the building container, then this results in an increase in production speed.

#### Modification 6 of the Third Embodiment

In a sixth modification of the third embodiment, the drive 20, is not connected to building containers 4a, 4b, 4c, 4d but to deflection units 22 and the material application devices 7, 8, 9, 10 similar to the modification 3 described above. Therefore during operation, building containers 4a, 4b, 4c, 4d maintain their position, while drive 20 permits deflection units 22 and the material application devices 7, 8, 9, 10 to execute a rotational movement about axis of rotation 3. It is obviously also conceivable that the deflection units 22 and the material application devices 7, 8, 9, 10 as well as building containers 4a, 4b, 4c, 4d counter-rotate.

Obviously, any combination of the various modifications of the third embodiment is also possible.

In all embodiments, other radiation sources, such as e.g. electron radiation, microwave radiation, a lamp combined with a mask, LEDs and other irradiation arrays and so on,

or other solidification devices, such as e.g. binder and adhesive application devices can be used instead of lasers and the deflection unit.

The apparatus and method described above can also be used for various generative production methods, such as e.g. selective laser sintering, especially of polymers, stereolithography, LOM process (Laminated Object Manufacturing), FDM process (Fused Model Deposition) or the three-dimensional printing (solidification of powderous material using a binder or by means of a chemical reaction, especially by using multi-component systems comprised of binders/hardners or using fusing of thermoplasts), in which the three-dimensional object is produced in a layered manner, whereby layers of a build-up material are applied and bonded together at the points corresponding to the cross-section of the object.



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 52 998 A 1

51 Int. Cl. 7:  
B 01 J 19/08  
B 22 F 3/105  
B 29 C 67/00  
B 23 K 26/00

21 Aktenzeichen: 199 52 998.1  
22 Anmeldetag: 4. 11. 1999  
43 Offenlegungstag: 17. 5. 2001

DE 199 52 998 A 1

71 Anmelder:  
Exner, Horst, Prof. Dr.-Ing., 09648 Lauenhain, DE;  
Ebert, Robby, Dipl.-Phys., 09114 Chemnitz, DE  
74 Vertreter:  
Krause, W., Dr.-Ing. Faching.f.Erfindungswesen,  
Pat.-Anw., 09648 Mittweida

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

56 Entgegenhaltungen:  
DE 43 25 573 C2  
US 52 52 264

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verwendung von Vakuum und/oder einer zusätzlichen Wärmequelle zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen

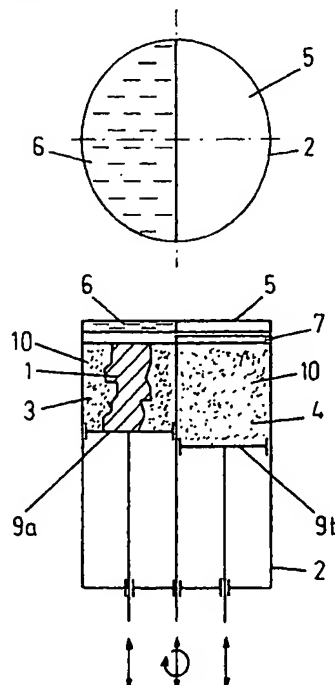
57 Die Erfindung betrifft Vorrichtungen zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen und die Verwendung von Vakuum und/oder einer zusätzlichen Wärmequelle zur direkten Herstellung derartiger Körper.

Die Vorrichtung zeichnet sich besonders durch eine evakuierbare Bearbeitungskammer, in die wenigstens zwei Teilkammern integriert sind, aus. Eine der Teilkammern ist der Bauraum und die andere der Vorratsbehälter für das Pulver.

Die Verwendung des Vakuums in der Bearbeitungskammer führt dabei insbesondere dazu,

- dass keine reaktive Atmosphäre vorhanden ist,
- dass durch das Zusammenfügen der Pulverteilchen dichte und porenfreie Schichten entstehen und
- dass keine Wärmeleitung stattfindet.

Bewegbare Böden der Teilkammern werden wechselseitig betätigt. Während der Herstellung des Körpers wird der Boden des Vorratsbehälters in Richtung der Deckplatte und der des Bauraumes von dieser weg bewegt. Mit dem Rakel an der Deckplatte oder der Abdeckplatte und einer gesteuerten Bewegung des Rakels und der Böden ist der Körper definiert schichtweise realisierbar.



DE 199 52 998 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft Vorrichtungen zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen im Vakuum nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und Verwendung von Vakuum und/oder einer zusätzlichen Wärmequelle zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 20.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Körpern aus schichtweise aufgebrachtem Pulver und einem selektiven Sintern der jeweilig aufgetragenen Schicht sind aus der US 4863538 (Verfahren und Einrichtung zur Herstellung von Körpern durch selektives Sintern) bekannt. Dabei wird durch energiereiche Strahlung das Pulver der jeweiligen Schicht partiell versintert. Über das Auftreffen einer Strahlung wird dabei der Körper realisiert. Zur Erzeugung des jeweiligen Körpervolumens wird die energiereiche Strahlung gescannt. Zum Einsatz kommen vorwiegend CO<sub>2</sub>- oder Nd:YAG-Laser mit Scanner, mit einer Leistung von 50 W bis 200 W und einem Fokus von 100 µm bis 300 µm. Das Ergebnis ist ein gesintertter Körper. Dieser zeichnet sich allerdings dadurch aus, dass eine Verbindung, ohne dass eine Schmelze wie beim Schweißen gebildet wird, entsteht. Damit ergeben sich Körper, die nur bedingt als Druckgusswerkzeuge einsetzbar sind. Ein wesentlicher Nachteil besteht in der sehr langen Sinterzeit insbesondere bei größeren Körpern, die je nach Bauteilgröße bis zu 100 h beträgt. Ein weiterer Nachteil ist die große Oberflächenrauheit des Körpers. Die Einrichtung dieser Lösung besteht in einem durch einen Mikrorechner gesteuerten Verfahrensablauf.

In den Veröffentlichungen US 5017317, US 5135695 und US 5182170 sind Verfahren und Vorrichtungen zur Herstellung von Körpern durch selektives Sintern von schichtweise aufgetragenen Pulverschichten mit Laserstrahlen beschrieben. Die Lösungen zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass weitere Schichten aus Stoffen aus der Gasphase unter Nutzung des Laser-CVD-Verfahrens gleichzeitig auf den Körper oder den sich bildenden Körper abscheidbar sind. Das wird dadurch erreicht, indem der Körper in einer Arbeitskammer aus den pulverförmigen Schichten hergestellt wird.

In der US 5169579 wird der Prozess der Herstellung eines Körpers durch die Erzeugung eines Plasmas oder einer Katalyse in einer Arbeitskammer unterstützt.

Zum Schutz vor Oxidation wird ein zusätzliches Pulvergemisch als Hilfsmittel zur Verhinderung der Oxidation und Reduzierung der Schmelztemperatur in den US 5314003 und US 5393613 in die Arbeitskammer eingebracht.

In der WO 95/34468 ist eine Vorrichtung zum Aufbringen von Pulver angegeben, bei der Vakuum zum Transport des Pulvers genutzt wird.

Damit ist auch der entscheidende Nachteil dieser Lösungen aufgezeigt. Entweder ist kein Schutz vor Oxidation während des Sinterns oder Verschweißens oder dieser ist nur durch zusätzliche Materialien in Pulverform und damit einen zusätzlichen Aufwand eingeschränkt vorhanden. Die Oxidationen können zu Rissbildungen oder Zwischenverbindungen führen, die die Festigkeit des Körpers negativ beeinflussen.

Vorrichtungen, in denen Pulver schichtweise unter Vakuumbedingungen versintert oder verschweißt werden, sind nicht bekannt.

Der in den Patentansprüchen 1 und 20 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, Körper direkt aus nacheinander aufgetragenen pulverförmigen Schichten herzustellen.

Dieses Problem wird mit den in den Patentansprüchen 1 und 20 aufgeführten Merkmalen gelöst.

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern, insbesondere von Werkzeugen, ultraharten Werkzeugeinsätzen, Werkstücken, Urmodellen, Gußformen oder Prototypen im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen zeichnet sich besonders durch eine evakuierbare Arbeitskammer, in die wenigstens zwei Teilkammern integriert sind, aus. Eine der Teilkammern ist dabei der Bauraum und die andere der Vorratsbehälter für das Pulver. Das Pulver wird dabei im Vakuum der Arbeitskammer über eine Rakel bewegt.

Die Verwendung des Vakuums in der Arbeitskammer führt dabei insbesondere dazu,

- dass keine reaktive Atmosphäre vorhanden ist, so dass eine Oxidbildung oder andere chemische Reaktionen weitestgehend unterdrückt werden,

- dass durch das Zusammenfügen der Pulverteilchen während des Schweißens oder des Sinterns dichte und porenfreie Schichten herstellbar sind, so dass die Festigkeit des mit der Vorrichtung hergestellten Körpers gegenüber mit herkömmlichen Sintern mit Laserstrahlen hergestellten Körpern steigt und

- dass keine Wärmeleitung des Bauraumes über die Umgebungsluft stattfindet.

Die Vorrichtung zeichnet sich weiterhin dadurch aus, dass eine definierte Gasatmosphäre und ein definierter Druck < 1 bar in der Arbeitskammer erzeugbar sind. Aus der Gasatmosphäre lassen sich durch eine CVD-Unterstützung unter anderem TiN-, SiC-, Oxid-Keramiken oder andere hochschmelzende Materialien bei der CVD-Temperatur sintern.

Die bewegbaren Böden der Teilkammern werden wechselseitig betätigt. Während der Herstellung des Körpers wird der Boden des Vorratsbehälters in Richtung der Deckplatte und der des Bauraumes von dieser weg bewegt. Mit der Rakel an der Deckplatte oder der Abdeckplatte und einer gesteuerten Bewegung des Rakels und der Böden ist der Körper definiert schichtweise realisierbar.

Durch die Verwendung einer zusätzlichen Wärmequelle zum Laser kann das Pulver zusätzlich getrocknet oder auf einer konstanten Temperatur gehalten werden. Dies führt zur besseren Maßhaltigkeit des Körpers und zu geringeren Spannungen im Material.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Patentansprüchen 2 bis 19 und 21 angegeben.

Eine bewegbare Abdeckplatte einer Teilkammer nach einer Weiterbildung des Patentanspruchs 2 dient zum einen als Rakel oder als definierte Führung des Rakels zum Aufbringen der Pulverteilchen im Bauraum und/oder zum anderen der Abdeckplatte des Vorratsbehälters der Pulverteilchen, so dass diese nicht unkontrolliert in den Bauraum und die Vakuumeinrichtung gelangen können, wenn die Arbeitskammer evakuiert wird. Damit ist ein einfacher Aufbau vorhanden.

Die Verbindung einer bewegbaren Deckplatte mit einem Rakel nach einer weiteren Weiterbildung des Patentanspruchs 2 verbindet zwei Herstellungsschritte miteinander. Besonders bei großen Arbeitskammern für die Herstellung großer oder mehrerer Körper gleichzeitig ist dieser Sachverhalt interessant. Eine bewegbare Deckplatte ist mit einem kleinen Fenster zum Einkoppeln des Bearbeitungsstrahles ausrüstbar, so dass deren Dimension fast beliebig ausführbar ist.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 3 stellt eine Vorrichtung mit zwei Bauräumen und zwei dazugehörigen Vorratsbehältern für die Pulverteilchen dar. Damit sind gleich-



zeitig wenigstens zwei Körper auch unterschiedlicher geometrischer Form herstellbar. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass energiereiche Strahlung einer Strahlungsquelle zur Bearbeitung beider Körper verwendbar ist. Die Abdeckplatten der Teilkammern führen vorteilhafterweise dazu, dass das Pulver während der Evakuierung im Vorratsbehälter verbleibt.

Die drehbare Ausbildung der Deckplatte nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 4 ermöglicht eine Vergrößerung der Bearbeitungsfläche gegenüber einem feststehenden Fenster. Eine derartige Ausgestaltung der Bearbeitungskammer ist gegenüber der Weiterbildung des Patentanspruchs 3 insbesondere für größere Körpervolumina geeignet. Ein weiterer Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass im einfachsten Fall durch die drehbare Deckplatte nur noch zwei schmale streifenförmige transparente Einkoppelfenster notwendig sind.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 5 vereinfacht den Aufbau wesentlich. Die Entlüftung der Vorratsbehälter erfolgt durch seitlich angebrachte Öffnungen. Der gesamte Aufwand für die Abdeckplatten ist einsparbar, so dass sich ökonomische Vorteile ergeben.

Mit den drehbaren und in ihrem Abstand gegenüber der Deckplatte veränderbaren Abdeckplatten nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 6 ist ein steuerbarer Auftrag des pulverförmigen Stoffes in die Bauräume gegeben. Steuerbar bedeutet dabei insbesondere in der Dicke der Schicht und vorzugsweise entsprechend der Geometrie des oder der Körper. Durch die Veränderung des Abstandes ist weiterhin ein Druck auf die aufgetragene Pulverschicht ausübbar. Damit wird das aufgetragene Pulver vorverdichtet.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 7 stellt eine erfindungsgemäße Vorrichtung insbesondere für große oder mehrere gleichzeitig herzustellende Körper dar.

Günstige Ausgestaltungen der Einkoppelfenster sind in den Weiterbildungen des Patentanspruchs 8 aufgeführt.

Während der Herstellung des Körpers wird der Boden des Vorratsbehälters nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 9 in Richtung der Deckplatte und der des Bauraumes von dieser weg bewegt. Mit dem Rakel an der Deckplatte oder der Abdeckplatte und einer gesteuerten Bewegung des Rakels und der Böden ist der Körper definiert schichtweise realisierbar.

Die Ankopplung der vakuumzeugenden Einrichtung an den Boden der Bearbeitungskammer nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 10 führt zu günstigen Strömungsverhältnissen an der Oberseite der Bearbeitungskammer. Ein Absaugen des pulverförmigen Stoffes wird behindert. Der Filter zwischen der Bearbeitungskammer und der mindestens einen vakuumzeugenden Einrichtung nach einer weiteren Ausführungsform des Patentanspruchs 10 verhindert, dass die Pulverteilchen in die vakuumzeugende Einrichtung gelangen.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 11 erlaubt das Evakuieren der Bearbeitungskammer mit einer geringen Gasströmung, so dass das Pulver nicht abgesaugt wird und im Vorratsbehälter verbleibt. Hierzu werden der Druck am Boden des Vorratsbehälters und in der Bearbeitungskammer gemessen. Über ein in der Vakuumleitung angeordnetes steuerbares Ventil wird die Druckdifferenz auf niedrigem Niveau konstant gehalten, so dass eine gleichmäßig geringe Strömung während der Evakuierung erzielbar ist.

Eine Erwärmung und Temperierung des Körpers während seiner Herstellung mit der Weiterbildung des Patentanspruchs 12 erhöht die Maßhaltigkeit des Körpers. Durch Anwendung einer Temperatur im Bereich von 600°C bis 800°C verringert sich die Möglichkeit einer Rißbildung der sich ansonsten ungesteuerten Abkühlung der bereits bearbeiteten

Schichten. Das Ausbilden von Spannungen im Körper wird weitestgehend vermieden. Ein Verschweißen der Schichten wird ermöglicht. Damit steigt die Qualität des hergestellten Körpers und Ausschuß wird weitestgehend eingeschränkt.

Die Kopplung des Vorratsbehälters der Pulverteilchen führt zu einer weiteren Trocknung. Damit wird unter anderem ein Verklumpen der Pulverteilchen weitestgehend vermieden, so dass in Folge dünnere Schichten realisierbar sind.

Die Weiterbildung nach Patentanspruch 13 verhindert eine übermäßige Erwärmung der Bearbeitungskammer.

Die Ankopplung einer Gasversorgung an die Bearbeitungskammer der Vorrichtung nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 14 ermöglicht das Sintern von hochschmelzenden Stoffen mit Unterstützung einer Schichtabscheidung aus der Gasphase auf den vom Laserstrahl erwärmten Pulverteilchen. Damit wird vor allem das Sintern bisher nicht sinterbarer Materialien wie z. B. TiN möglich.

Mindestens eine Entlüftungsöffnung in der zweiten Teilkammer (Vorratsbehälter) und/oder der Abdeckplatte nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 15 ermöglicht den allmählichen Druckausgleich zwischen Bearbeitungskammer und Vorratsbehälter. Gleichzeitig wird durch die Ausbildung der Größe dieser Entlüftungsöffnung eine Bewegung der Pulverteilchen in den Bearbeitungsraum verhindert.

In der Weiterbildung des Patentanspruchs 16 werden vorteilhaft einsetzbare Materialien zur Realisierung der Entlüftungsöffnung angegeben.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 17 verhindert ein Anhaften des Pulvers an der Abdeckplatte oder der Deckplatte insbesondere wenn diese als Rakel zum definierten Auftragen des Pulvers oder zum Vorverdichten eingesetzt werden.

Durch die Weiterbildungen der Patentansprüche 18 und 19 ist ein automatischer und hinsichtlich der Geschwindigkeit und Qualität optimaler Prozess mit der Vorrichtung gegeben.

Durch die Verwendung des im Patentanspruch 21 angegebenen Temperaturbereiches ist der Körper spannungsarm und präzise verschweißbar.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern mit einer Bearbeitungskammer mit einem runden Querschnitt und zwei Teilkammern in einer Draufsicht und einer Seitenansicht im Schnitt,

Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern mit einer Bearbeitungskammer mit einem runden Querschnitt und vier Teilkammern in einer Draufsicht und einer Seitenansicht im Schnitt,

Fig. 3 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern mit einer Bearbeitungskammer mit einem rechteckigem Querschnitt und bewegbarer Deckplatte in einer Seitenansicht im Schnitt,

Fig. 4 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern mit einer Bearbeitungskammer mit einem rechteckigem Querschnitt und zwei gegeneinander bewegbaren Deckplatten im Schnitt und

Fig. 5 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern mit einer Bearbeitungskammer mit einem rechteckigem Querschnitt und kleiner bewegbarer Deckplatte in einer Seitenansicht im Schnitt.

#### 1. Ausführungsbeispiel

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern 1

insbesondere ultraharten Werkzeugeinsätzen und Mikrobau-  
teilen im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen besteht  
in einem ersten Ausführungsbeispiel aus einer kleinen eva-  
kuierbaren Bearbeitungskammer 2 mit zwei Teilkammern  
und einer energiereichen Strahlung liefernden Einrich-  
tung in Form eines Lasers. Die Fig. 1 zeigt prinzipiell eine  
derartige Vorrichtung.

Die Bearbeitungskammer 2 weist einen runden Quer-  
schnitt mit einem Durchmesser von 150 mm auf. Die zwei  
Teilkammern sind als wechselseitig mit einer Abdeckplatte  
schließbare Behälter ausgebildet. Eine der Teilkammern ist  
der Bauraum 3 für den Körper 1 und die andere der Vorrats-  
behälter 4 für die Pulverteilchen, aus denen im Bauraum 3  
der Körper 1 hergestellt wird. Der effektive nutzbare Bau-  
raum 3 hat einen Innendurchmesser von 100 mm.

Die Bearbeitungskammer 2 besitzt eine gegenüber der  
Wand feststehende Deckplatte 5 mit einem für die Strahlung  
des Lasers transparenten Einkoppelfenster 6. Dieses weist  
einen halbkreisförmigen Querschnitt des Bauraums 3 mit einem  
Durchmesser von 100 mm aus und ist über diesem ange-  
ordnet.

Die Teilkammern der Bearbeitungskammer 2 sind wech-  
selseitig mit einer Abdeckplatte in Richtung der Deckplatte  
5 verschließbar. Dazu besitzt die Abdeckplatte 7 die Form  
des Querschnitts einer Teilkammer in Form eines Halbkreis-  
es und ist über eine Drehachse 8 dreh- und verschiebbar in  
der Bearbeitungskammer 2 angeordnet. Die Drehachse ist  
aus der Bearbeitungskammer vakuumdicht herausgeführt  
und mit einem eine translatorische Bewegung und einem eine  
translatorische Bewegung liefernden Antrieb verbunden.  
Die Antriebe sind in der Darstellung der Fig. 1 nicht gezeigt.  
An eine der Kanten der Abdeckplatte 7 ist gleichzeitig ein  
Rakel zum Auftragen einer Schicht mit gleichmäßiger  
Schichtdicke der Pulverteilchen in den Bauraum 3 befestigt.  
Die Böden 9a, 9b des Bauraumes 3 und des Vorratsbehälters  
4 sind gegenüber der Deckplatte 5 bewegbar in der Bearbei-  
tungskammer 2 angeordnet und mit jeweils einem transla-  
torischen Antrieb verbunden. Die Antriebe sind in der Fig. 1  
nicht dargestellt. Während der Herstellung des Körpers 1 im  
Bauraum 3 wird der Boden 9a des Bauraumes 3 vakuumdicht  
gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 ab-  
gesenkt und der Boden 9b des Vorratsbehälters 4 vakuum-  
dicht gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer  
2 angehoben. Das Anheben und Absenken erfolgt nach der  
Bewegung der Abdeckplatte 7 und des Rakels wie folgt:

1. Schritt: Bewegung der Abdeckplatte 7 in Richtung des  
Bauraumes 3;
2. Schritt: Anheben des Bodens 9b und damit des Pulvers  
10 im Vorratsbehälter 4;
3. Schritt: anderthalbfache Umdrehung der Abdeckplatte  
7 mit dem Rakel, wobei das Pulver 10 als oberste Schicht  
vom Vorratsbehälter 4 in den Bauraum 3 geschoben wird;
4. Schritt: Bearbeitung der ersten Schicht im Bauraum 3;
5. Schritt: Absenkung des Bodens 9a des Bauraumes 3  
und 1. Schritt.

Die Bearbeitungskammer 2 ist mit einer vakuumzer-  
zeugenden Einrichtung verbunden. Während der Evakuierung  
wird die Abdeckplatte 7 auf den Vorratsbehälter 4 abge-  
senkt.

Der Vorratsbehälter 4 und/oder die Abdeckplatte 7 besit-  
zen Entlüftungsöffnungen, die kleiner als die Teilchen des  
Pulvers 10 selbst sind. Damit ist ein Druckausgleich im Vor-  
ratsbehälter 4 gewährleistet.

Über dem Einkoppelfenster 6 befindet sich eine die ener-  
giereiche Strahlung aussendende, ablenkende oder beein-  
flussende Einrichtung. Das ist z. B. ein Nd:YAG-Laser mit  
einer Wellenlänge von 532 nm (frequenzverdoppelt) oder  
ein Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1064 nm. Im

Strahlengang des Lasers sind weiterhin strahlformende und  
strahlführende Einrichtungen angeordnet. Die letzte dieser  
Einrichtungen befindet sich über dem Einkoppelfenster 6, so  
dass die Laserstrahlung über das Einkoppelfenster 6 in die  
Bearbeitungskammer 2 geleitet wird. Die Laser und/oder  
die strahlformenden und strahlführenden Einrichtungen sind  
in der Fig. 1 nicht dargestellt. In der Bearbeitungskammer 2  
erfolgt ein schichtweises Versintern oder Verschweißen des  
Pulvers 10. Das versinterte oder verschweißte Pulver 10 bil-  
den den Körper 1.

Die Antriebe, der Laser, die Bewegungsmechanismen der  
strahlführenden Einrichtungen und die Vakuumeinrichtung  
sind mit einem Computer verbunden. Damit ist eine softwa-  
regesteuerte Herstellung des Körpers gegeben.

## 2. Ausführungsbeispiel

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern 1  
insbesondere ultraharten Werkzeugeinsätzen aus TiN im  
Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen besteht in einem  
zweiten Ausführungsbeispiel entsprechend dem ersten Aus-  
führungsbeispiel aus einer kleinen evakuierbaren Bearbei-  
tungskammer 2 mit zwei Teilkammern (Darstellung in der  
Fig. 1) und einer energiereichen Strahlung liefernden  
Einrichtung in Form eines Ar<sup>+</sup>- oder frequenzverdoppelten  
Nd:YAG-Lasers.

Der Aufbau der Bearbeitungskammer 2 und die Hand-  
habung des Pulvers 10 sind gleich dem ersten Ausführungs-  
beispiel (Darstellung in der Fig. 1). Die Bearbeitungskammer 2  
besitzt zusätzlich einen Anschluss zur Gasversorgung mit  
den für den TiN-CVD-Prozess notwendigen Dämpfen und  
Gasen TiCl<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>. Die Bearbeitungskammer 2 wird  
zunächst bei abgesenkter Abdeckplatte 7 auf dem Vorratsbe-  
hälter 4 evakuiert. Es kommt reines TiN-Pulver 10 zum Ein-  
satz. Nach Beendigung des Druckausgleichsprozesses wer-  
den die Reaktionsgase eingelassen und bei einem Druck von  
ca. 10 mbar und einer geringen Durchflussrate die CVD-  
Voraussetzungen realisiert. Der nachfolgende Sinterprozess  
findet durch einen parallel laufenden Laser-CVD-Prozess  
statt.

Nach Beendigung des Sintervorganges wird das restliche  
Pulver 10 aus dem Vorratsbehälter 4 in den Bauraum 3 be-  
fordert, der Bauraum 3 mit der Abdeckplatte 7 verschlossen,  
die Gasversorgung abgesperrt und die Bearbeitungskammer  
2 zur Entfernung der reaktiven Gase entsprechend evakuiert.  
Dieser Vorgang kann zur Verbesserung der Nachhaltigkeit  
mehrmals wiederholt werden. Abschließend wird die Bear-  
beitungskammer 2 mit N<sub>2</sub> aufgefüllt und der Körper 1 kann  
entnommen werden.

Die Antriebe, der Laser, die Bewegungsmechanismen der  
strahlführenden Einrichtungen, die Gasversorgung und die  
Vakuumeinrichtungen sind mit einem Computer verbunden.  
Damit ist eine softwaregesteuerte Herstellung des Körpers 1  
gegeben.

## 3. Ausführungsbeispiel

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern 1,  
insbesondere von Werkzeugen, ultraharten Werkzeugeinsät-  
zen, Werkstücken, Urmodellen, Gußformen oder Prototypen  
im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen besteht in ei-  
nem dritten Ausführungsbeispiel aus einer gegenüber dem  
ersten Ausführungsbeispiel größeren evakuierbaren Bear-  
beitungskammer 2 mit vier Teilkammern (Darstellung in der  
Fig. 2) und wenigstens einer energiereichen Strahlung  
liefernden Einrichtung in Form eines Lasers.

Die Bearbeitungskammer 2 weist einen runden Quer-  
schnitt mit einem Durchmesser von 300 mm auf. Die vier

Teilkammern sind als wechselseitig mit zwei Abdeckplatten 7a, 7b schließbare Behälter ausgebildet. Die vier Teilkammern sind im Querschnitt kreissektorförmig ausgebildet und besitzen die gleichen Abmessungen. Zwei sich gegenüberliegende Teilkammern stellen die Bauräume 3a, 3b dar und die beiden anderen sich gegenüberliegenden sind die Vorratsbehälter 4a, 4b.

Die Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 ist gegenüber deren Wand in der Symmetrieachse drehbar und besitzt zwei für die Laserstrahlung transparente Einkoppelfenster 6a, 6b. Diese weisen rechteckförmige Querschnitte aus.

Jeweils zwei benachbarte Teilkammern der Bearbeitungskammer 2 sind wechselseitig mit jeweils einer Abdeckplatte 7a, 7b in Richtung der Deckplatte 5 verschließbar. Dazu besitzen die Abdeckplatten 7a, 7b die Form des Querschnitts der Teilkammer in Form eines Viertelkreises. Zum Verschließen werden die Abdeckplatten 7a, 7b auf die Teilkammern abgesenkt. Die Symmetrieachsen der Abdeckplatten 7a, 7b schließen einen Winkel von 180° ein. Die Verbindungsstelle der Abdeckplatten 7a, 7b ist mit einer Drehachse 8 verbunden. Die Drehachse 8 ist aus der Bearbeitungskammer 2 vakuumdicht herausgeführt und mit jeweils einem rotatorischen Antrieb und einem translatorischen Antrieb verbunden. Der Antrieb ist in der Fig. 2 der Einfachheit nicht dargestellt. An eine der Kanten der Abdeckplatten 7a, 7b sind gleichzeitig jeweils ein Rakel zum Auftragen einer Schicht mit gleichmäßiger Schichtdicke des Pulvers 10 in die Bauräume 3a, 3b angebracht. Die Böden 9a, 9b, 9c, 9d der Teilkammern sind gegenüber der Deckplatte 5 bewegbar in der Bearbeitungskammer 2 angeordnet und mit jeweils einem translatorischen Antrieb verbunden. Die Antriebe sind in der Fig. 2 nicht dargestellt. Während der Herstellung der Körper 1 in den Bauräumen 3a, 3b werden deren Böden 9a, 9c vakuumdicht gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 abgesenkt und die Böden 9b, 9d der Vorratsbehälter 4a, 4b vakuumdicht gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 angehoben. Das Anheben und Absenken erfolgt nach der Bewegung der Abdeckplatten 7a, 7b mit den Rakeln wie folgt:

1. Schritt: Bewegung der Abdeckplatten 7a, 7b in Richtung der Bauräume 3a, 3b;
2. Schritt: Anheben der Böden 9b, 9d der Vorratsbehälter 4a, 4b;
3. Schritt:  $\frac{3}{4}$  Umdrehung, wobei das Pulver als oberste Schicht von den Vorratsbehältern 4a, 4b in die Bauräume 3a, 3b geschoben werden;
4. Schritt: Bearbeiten der ersten Schichten in den Bauräumen 3a, 3b.
5. Schritt: Absenken der Böden 9a, 9c der Bauräume 3a, 3b und 1. Schritt.

Die Bearbeitungskammer 2 weist eine oder mehrere kleine Entlüftungsöffnungen auf. Diese befinden sich zwischen dem Innenraum der Bearbeitungskammer 2 und einer vakuumzeugenden Einrichtung. Dadurch ist ein gleichmäßig verteilter Gasstrom zur Evakuierung erzielbar.

Die Vorratsbehälter 4a, 4b und/oder die Abdeckplatten 7a, 7b besitzen ebenfalls Entlüftungsöffnungen, die jedoch kleiner als die Teilchen des Pulvers 10 selbst sind. Damit ist ein Druckausgleich sowohl in den Vorratsbehältern 4a, 4b als auch in den Bauräumen 3a, 3b gewährleistet, ohne dass Pulver 10 in die Vakuumeinrichtung gelangen kann.

Über den Einkoppelfenster 6a, 6b ist entweder wechselseitig eine die energiereiche Strahlung aussendende, ablenkende oder beeinflussende Einrichtung positioniert oder jeweils eine die energiereiche Strahlung aussendende, ablenkende oder beeinflussende Einrichtung angeordnet. Diese sind in der Fig. 2 nicht dargestellt.

Eine energiereiche Strahlung aussendende Einrichtung ist

z. B. ein Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 532 nm (frequenzverdoppelt) oder ein Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1064 nm. Im Strahlengang des Lasers sind weiterhin strahlformende und strahlführende Einrichtungen so angeordnet, dass die Laserstrahlung über eines der Einkoppelfenster 6a, 6b oder beide Einkoppelfenster 6a, 6b in die Bearbeitungskammer 2 geleitet wird. Dort erfolgt ein schichtweises Versintern und/oder Verschweißen der Teilchen des Pulvers 10. Die versinterten und/oder verschweißten Teilchen des Pulvers 10 sind der Körper 1.

Die Antriebe, der oder die Laser, die Bewegungsmechanismen der strahlführenden Einrichtungen und die Vakuumeinrichtung sind mit einem Computer verbunden. Damit ist eine softwaregesteuerte Herstellung des Körpers gegeben.

#### 4. Ausführungsbeispiel

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern, insbesondere von Werkzeugen, ultraharten Werkzeugeinsätzen, Werkstücken, Urmodellen, Gußformen oder Prototypen im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen besteht in einem vierten Ausführungsbeispiel aus einer evakuierbaren großen Bearbeitungskammer 2 mit drei Teilkammern und wenigstens einer energiereichen Strahlung liefernden Einrichtung in Form eines Lasers. Die Bearbeitungskammer 2 weist einen rechteckförmigen Querschnitt auf und ist durch Zwischenwände in drei nebeneinander angeordnete Teilkammern eingeteilt. Die Fig. 3 zeigt einen prinzipiellen Querschnitt einer derartig ausgebildeten Vorrichtung. Die zweite und mittlere Teilkammer stellt den Bauraum 3 dar und die ersten und dritten Teilkammern sind die Vorratsbehälter 4a, 4b für die Pulverteilchen. Die Deckplatte 5 ist gegenüber der Bearbeitungskammer 2 in Richtung sowohl der ersten als auch der dritten Teilkammer bewegbar. Die Deckplatte 5 besitzt wenigstens ein für energiereiche Strahlung transparentes streifenförmiges Einkoppelfenster 6 über die Abmessung der Bearbeitungskammer 2 quer zur Bewegungsrichtung der Deckplatte 5. Die Länge der Bewegung der Deckplatte 5 ist wenigstens gleich der Abmessung der zweiten Teilkammer als Bauraum 3 in dieser Richtung. Damit wird die gesamte Fläche der zweiten Teilkammer und damit des Bauraumes 3 durch das Einkoppelfenster 6 vollständig überstrichen. Die Abmessungen der Deckplatte 5 sind so ausgeführt, dass bei jeder Position des Einkoppelfensters 6 der Deckplatte 5 gegenüber der zweiten Teilkammer als Bauraum 3 die Bearbeitungskammer 2 vollständig abgedeckt ist.

Im Bereich unter der Deckplatte 5 und in der Bearbeitungskammer 2 befindet sich ein Rakel 11. Dieser ist über die gesamte Länge der Bearbeitungskammer 2 in Richtung der Teilkammern präzise bewegbar. Die Länge des Rakels 11 entspricht der Abmessung des Innenraumes der Bearbeitungskammer 2 quer zur Bewegung des Rakels 11.

Die Böden 9a, 9b, 9c der Teilkammern sind gegenüber der Deckplatte 5 bewegbar in der Bearbeitungskammer 2 angeordnet und mit jeweils einem translatorischen Antrieb verbunden. Während der Herstellung des Körpers im Bauraum 3 wird der Boden 9b des Bauraumes 3 vakuumdicht gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 abgesenkt und der Boden 9a des ersten Vorratsbehälters 4a vakuumdicht gegenüber der Deckplatte 5 der Bearbeitungskammer 2 angehoben. Das Anheben und Absenken erfolgt nach der Bewegung des Rakels 11, wobei dieser die Flächen der Teilkammern wenigstens gegenüber der Deckplatte 5 vollständig überstreicht. Die Bearbeitung geschieht nach folgenden Schritten:

1. Schritt – Anfangsschritt: Bewegung des Rakels 11 in der Bearbeitungskammer 2 von der Außenwand der ersten

Teilkammer als Vorratsbehälter 4a unter Mitnahme der darin enthaltenen Pulverteilchen in die zweite Teilkammer als Bauraum 3 zur gegenüberliegenden Außenwand der dritten Teilkammer als Vorratsbehälter 4b. Dabei ist der Boden 9b der zweiten Teilkammer als Bauraum 3 so gegenüber der Deckplatte 5 positioniert, dass eine Schicht von Pulverteilchen gleicher Dicke die Grundfläche der zweiten Teilkammer als Bauraum 3 vollständig bedeckt. Der Boden 9c der dritten Teilkammer als Vorratsbehälter 4b mit den darin enthaltenen Pulverteilchen besitzt einen Abstand zum Rakel 11, so dass dieser über die Teilchen des Pulvers 10 geführt wird.

2. Schritt: Bearbeitung der Schicht aus Pulverteilchen in der zweiten Teilkammer als Bauraum 3.

3. Schritt: Absenken des Bodens 9b der zweiten Teilkammer als Bauraum 3, so dass eine neue definierte Schicht von Pulverteilchen durch die Bewegung des Rakels 11 aus der dritten Teilkammer als Vorratsbehälter 4b aufgebracht werden kann.

4. Schritt: Anheben des Bodens 9c der dritten Teilkammer als Vorratsbehälter 4b.

5. Schritt: Bewegung des Rakels 11 in Richtung der ersten Teilkammer als Vorratsbehälter 4a unter Mitnahme der Pulverteilchen bis zur Außenwand dieser Teilkammer, wobei wiederum eine Schicht von Pulverteilchen in der zweiten Teilkammer als Bauraum 3 verbleibt.

Weiter mit 1. Schritt.

Die Schritte 3 und 4 sind auch gleichzeitig durchführbar. Die Bearbeitungskammer 2 ist über ein Filter mit wenigstens einer vakuumzeugenden Einrichtung verbunden. In der Verbindung zwischen der Bearbeitungskammer 2 und der vakuumzeugenden Einrichtung ist ein elektrisch ansteuerbares Ventil angeordnet. An den Böden 9a, 9b, 9c der Vorratsbehälter 4a, 4b und im Bauraum 3 sind in Richtung der Pulverteilchen jeweils ein Druckaufnehmer 12a, 12b, 12c angebracht. Diese und das Ventil sind mit einer Prozesssteuerung in Form eines Computers verkoppelt. Ein Steuerprogramm berechnet in Abhängigkeit von der Masse der Pulverteilchen einen maximalen Evakuierungsgasstrom, bei dem das Pulver 10 noch in den Vorratsbehältern 4a, 4b verbleibt.

Über dem Einkoppelfenster 6 befindet sich eine die energiereiche Strahlung aussendende, ablenkende oder beeinflussende Einrichtung. Diese ist in der Fig. 3 nicht der Einfachheit halber dargestellt. Eine energiereiche Strahlung aussendende Einrichtung ist z. B. ein Laser. Im Strahlengang des Lasers sind weiterhin strahlformende und strahlführende Einrichtungen so angeordnet, dass die Laserstrahlung über das Einkoppelfenster 6 in den Bauraum 3 der Bearbeitungskammer 2 geleitet wird. Dort erfolgt ein schichtweises Versintern und/oder Verschweißen der Pulverteilchen. Die versinterten und/oder verschweißten Pulverteilchen sind der Körper.

Alle bewegbaren Teile der Bearbeitungskammer 2 sind so gestaltet, dass diese während der Herstellung des Körpers jederzeit vakuumdicht ist.

Die Bewegungen der Deckplatte 5, des Vakuumventils, des Rakels 11 und der Böden 9a, 9b, 9c der drei Teilkammern erfolgt mittels daran angekoppelter Antriebe, die in der Fig. 3 nicht dargestellt sind.

Die Antriebe, der oder die Laser und die Bewegungsmechanismen der strahlführenden Einrichtungen sind mit einem Computer verbunden. Damit ist eine softwaregesteuerte Herstellung des Körpers gegeben.

### 5. Ausführungsbeispiel

Die Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern,

insbesondere von Werkzeugen, ultraharten Werkzeugeinsätzen, Werkstücken, Urmodellen, Gußformen oder Prototypen im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen besteht in einem fünften Ausführungsbeispiel aus einer evakuierbaren großen Bearbeitungskammer 2 mit drei Teilkammern und wenigstens einer energiereichen Strahlung liefernden Einrichtung in Form eines Lasers ähnlich dem vierten Ausführungsbeispiel.

Zusätzlich zu diesem sind über den Vorratsbehältern 4a, 4b zwei Abdeckplatten 7a, 7b vorhanden, die während des Evakuierungsprozesses abgesenkt werden und verhindern, dass Pulver in die Vakuumeinrichtung gelangen kann. In der Fig. 4 ist eine derartige Bearbeitungskammer 2 im Prinzip dargestellt. Die Abdeckplatten 7a, 7b lassen sich beide in Richtung des Bauraumes 3 verschieben. Zwischen Schritt 1 und 2 des vierten Ausführungsbeispiels wird in diesem Ausführungsbeispiel ein Bearbeitungsschritt zur Verdichtung des Pulvers eingefügt. Hierzu werden die Abdeckplatten 7a, 7b auf den Bauraum 3 abgesenkt und präzise arretiert. Anschließend wird mit einem anhebbaren Boden 9b des Bauraumes 3 über eine entsprechend große Kraft durch den Antrieb 13 ein hoher Druck auf die Pulverschicht ausgeübt, so dass diese stark vorverdichtet wird. Die Abdeckplatten 7a, 7b sind pulverabweisend beschichtet, wodurch ein Anhaften des Pulvers vermieden wird. Über eine elektrische Kraftmesseinrichtung wird der Antrieb 13 anschließend wieder auf eine vordefinierte niedrige Kraft zurückgefahren. Dadurch behält die Pulverschicht nach z. B. einer Entriegelung und dem Abheben der Abdeckplatten 7a, 7b ihre exakte Lage bei. Anschließend ist der Prozess mit dem 2. Schritt fortführbar. Durch das Vorverdichten wird eine hohe Formstabilität des Körpers während des Sinter-/Schweißprozesses gewährleistet.

Die Bewegungen der Deckplatte 5, des Rakels 11, der Abdeckplatten 7a, 7b und der Böden 9a, 9b, 9c der drei Teilkammern erfolgt mittels daran angekoppelter Antriebe. Diese, der oder die Laser und die Bewegungsmechanismen der strahlführenden Einrichtungen sind mit einem Computer verkoppelt. Damit ist eine softwaregesteuerte Herstellung des Körpers gegeben.

In einer weiteren Ausführungsform der Ausführungsbeispiele 4 und 5 ist die Deckplatte 5 gegenüber der Bearbeitungskammer 2 fest und die Abmessung des Einkoppelfensters 6 entspricht dem Innenquerschnitt der zweiten Teilkammer als Bauraum 3. In dieser Ausführungsform ist ein Antrieb für die Deckplatte 5 nicht vorhanden.

In weiteren Ausführungsformen der Ausführungsbeispiele

sind der Bauraum 3 und/oder der Vorratsbehälter 4 als separate Behältnisse in der Bearbeitungskammer 2 ausgeführt (zur Erzeugung einer hohen Temperatur zwingend notwendig):

- sind der Bauraum 3 und/oder der Vorratsbehälter 4 mit einer Einrichtung zur Wärmeerzeugung verkoppelt,
- sind die Bearbeitungskammer 2, die Deckplatte 5 und das oder die Einkoppelfenster 6 mit wenigstens einer Kühlvorrichtung verbunden und/oder
- ist die Bearbeitungskammer 2 mit einer Gasversorgungseinrichtung verbunden.
- sind die Vorratsbehälter 4a, 4b mit festen und abnehmbaren Teilplatten 14a, 14b versehen (Darstellung in der Fig. 5), die Dichtungen zu der beweglichen Deckplatte 5 aufweisen.

1. Vorrichtung zur direkten Herstellung von Körpern, insbesondere von Werkzeugen, ultraharten Werkzeug-  
einsätzen, Werkstücken, Urmodellen, Gußformen oder  
Prototypen im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoff-  
fen, **dadurch gekennzeichnet**, dass in eine evakuier-  
bare Bearbeitungskammer (2) wenigstens zwei Teil-  
kammern integriert sind, dass eine erste Teilkammer  
der Bauraum (3) und die zweite ein Vorratsbehälter (4)  
für den pulverförmigen Stoff ist, dass die Deckplatte  
(5) gegenüber mindestens einer Wand der Bearbeitungs-  
kammer (2) feststehend oder beweglich ist, dass  
die Deckplatte (5) der Bearbeitungskammer (2) wenig-  
stens ein für energiereiche Strahlung transparentes Ein-  
koppelfenster (6) aufweist, dass im gegenüber der  
Deckplatte (5) oberen Bereich der Bearbeitungskam-  
mer (2) mindestens ein die Querschnittsfläche der Teil-  
kammern überstreichbarer Rakel (11) angeordnet ist,  
dass die Böden (9) der Teilkammern gegenüber der  
Deckplatte (5) bewegbar sind, dass sich über dem Ein-  
koppelfenster (6) wenigstens eine die energiereiche  
Strahlung aussendende, ablenkende oder beeinflus-  
sende Einrichtung befindet und dass die bewegbaren  
Bestandteile mit jeweils mindestens einem Antrieb ver-  
koppelt sind.
2. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass zum Ersten die Teilkammern wech-  
selseitig mit einer gegenüber den Teilkammern und der  
Bearbeitungskammer (2) bewegbaren Abdeckplatte (7)  
verschließbar sind und dass eine Kante der Abdeck-  
platte (7) ein Rakel (11) oder dass an eine Kante der  
Abdeckplatte (7) ein Rakel (11) befestigt ist oder dass  
zum Zweiten an die bewegbare Deckplatte (5) ein Ra-  
kel (11) angeordnet ist.
3. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die evakuierbare Bearbeitungskam-  
mer (2) einen kreisförmigen Querschnitt aufweist, dass  
vier im Querschnitt kreissektorförmig ausgestaltete  
Teilkammern in diese integriert sind, dass zwei sich ge-  
genüberliegende Teilkammern die Bauräume (3) dar-  
stellen, dass die beiden anderen sich gegenüberliegen-  
den die Vorratsbehälter (4) sind, dass die Deckplatte (5)  
der Bearbeitungskammer (2) wenigstens zwei für ener-  
giereiche Strahlung transparente und korrespondierend  
zu den die Bauräume (3) darstellenden Teilkammern  
angeordnete Einkoppelfenster (6) aufweist, dass die  
Teilkammern wechselseitig mit gegenüber den Teil-  
kammern und der Bearbeitungskammer (2) bewegba-  
ren Abdeckplatten (7) so verschließbar sind, dass ent-  
weder die Bauräume (3) oder die Vorratsbehälter (4)  
abgedeckt sind, dass zum einen eine Kante der Ab-  
deckplatten (7) ein Rakel (11) oder dass zum anderen  
an eine Kante der Abdeckplatten (7) ein Rakel (11) be-  
festigt ist, dass die Böden (9) der Teilkammern gegen-  
über der Deckplatte (5) verschiebbar sind, dass sich  
über wenigstens einem der Einkoppelfenster (6) eine  
die energiereiche Strahlung aussendende, ablenkende  
oder beeinflussende Einrichtung befindet und dass die  
bewegbaren Abdeckplatten (7) gemeinsam und die Bö-  
den (9) der Teilkammern mit jeweils mindestens einem  
Antrieb verkoppelt sind.
4. Vorrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Deckplatte (5) gegenüber der  
Bearbeitungskammer (2) in ihrer Symmetrieachse  
drehbar ist und dass die Deckplatte (5) wenigstens ein  
für energiereiche Strahlung transparentes Einkoppel-  
fenster (6) aufweist.

5. Vorrichtung nach Patentanspruch 4, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Deckplatte (5) gleichzeitig die  
Abdeckplatten (7) der Teilkammern ist und dass an  
oder in die Deckplatte (5) ein Rakel (11) integriert ist.
6. Vorrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Abdeckplatten (7) einzeln oder  
zusammen über eine Vakuumdurchführung im Boden  
(9) der Bearbeitungskammer (2) sowohl in der Symme-  
trieachse der Bearbeitungskammer (2) drehbar als auch  
in ihrem Abstand zu der Deckplatte (5) veränderbar  
sind.
7. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die evakuierbare Bearbeitungskam-  
mer (2) einen rechteckförmigen Querschnitt aufweist,  
dass die Bearbeitungskammer (2) in mehrere nebenein-  
ander angeordnete Teilkammern eingeteilt ist, dass  
eine der Teilkammern der Bauraum (3) ist, dass die we-  
nigstens eine andere Teilkammer der Vorratsbehälter  
(4) ist, dass die Deckplatte (5) der Bearbeitungskam-  
mer (2) wenigstens ein für energiereiche Strahlung  
transparentes Einkoppelfenster (6) in Richtung der  
Teilkammer als Bauraum (3) besitzt, dass die Deck-  
platte (5) fest oder gegenüber der Bearbeitungskammer  
(2) bewegbar so angeordnet ist, dass das Einkoppel-  
fenster (6) den Bauraum (3) überdeckt oder den Bauraum  
(3) bei einer Bewegung überstreicht, dass ein Rakel  
(11) in der Bearbeitungskammer (2) so gegenüber den  
Teilkammern verschiebbar angeordnet ist, dass der Ra-  
kel (11) die Teilkammern vollständig überstreicht, dass  
die Böden (9) der Teilkammern gegenüber der Deck-  
platte (5) bewegbar sind, dass sich über dem Einkop-  
pelfenster (6) eine die energiereiche Strahlung aussen-  
dende, ablenkende oder beeinflussende Einrichtung be-  
findet und dass die bewegbaren Böden (9) und entwe-  
der die Deckplatte (5) oder die Bearbeitungskammer  
(2) mit jeweils mindestens einem Antrieb verkoppelt  
sind.
8. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 1, 3  
oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Einkoppel-  
fenster (6) wenigstens die Abmessungen einer Teil-  
kammer besitzt, dass das Einkoppelfenster (6) kleiner  
als die Abmessungen einer Teilkammer oder dass das  
Einkoppelfenster (6) streifen- oder balkenförmig aus-  
gebildet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 1, 3  
oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Boden (9)  
des Bauraums (3) während der Bearbeitung vakuum-  
dicht gegenüber der Deckplatte (5) der Bearbeitungs-  
kammer (2) absenkbar und dass der Boden (9) des Vor-  
ratsbehälters (4) während der Bearbeitung vakuum-  
dicht gegenüber der Deckplatte (5) der Bearbeitungs-  
kammer (2) anhebbar sind.
10. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass mindestens eine vakuumherzu-  
zeugende Einrichtung an einem Boden (9) der Bearbei-  
tungskammer (2) angekoppelt ist und/oder dass die Bear-  
beitungskammer (2) über wenigstens ein Filter mit  
der mindestens einen vakuumherzeugenden Einrichtung  
verbunden ist.
11. Vorrichtung nach Patentanspruch 10, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass in der Verbindung zwischen der Bear-  
beitungskammer (2) und der vakuumherzeugenden  
Einrichtung ein elektrisch ansteuerbares Ventil ange-  
ordnet ist, dass sich am Boden (9) des Vorratsbehälters  
(4) und in der Bearbeitungskammer (2) jeweils ein  
Druckaufnehmer (12) befindet und dass die Druckauf-  
nehmer (12) und das Ventil an eine elektrische Steue-  
rung gekoppelt sind.

12. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 1, 3 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Bauraum (3) und/oder der Vorratsbehälter (4) mit einer Einrichtung zur Wärmeerzeugung verkoppelt ist.
13. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 1, 3 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungskammer (2), die Deckplatte (5) und das oder die Einkoppelfenster (6) mit wenigstens einer Kühlvorrichtung verbunden sind.
14. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungskammer (2) mit einer Gasversorgungseinrichtung verbunden ist.
15. Vorrichtung nach den Patentansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Teilkammer und/oder die bewegbare Abdeckplatte (7) mindestens eine Entlüftungsöffnung besitzt und dass deren Abmessung kleiner als die der Pulverteilchen ist.
16. Vorrichtung nach Patentanspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass poriges entweder gesintertes oder gepresstes Material die Entlüftungsöffnungen enthält.
17. Vorrichtung nach den Patentansprüchen 2 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegbare Abdeckplatte (7) oder die Deckplatte (5) pulverabweisend beschichtet sind.
18. Vorrichtung nach den Patentansprüchen 1, 3, 7 und 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebe, die energiereiche Strahlung aussendende Einrichtung, die Vakuum erzeugende Einrichtung, das elektrische Ansteuerventil, die Einrichtung zur Wärmeerzeugung, die Kühlvorrichtung und die Gasversorgungseinrichtung mit einer Steuereinrichtung verbunden sind.
19. Vorrichtung nach Patentanspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung ein Computer ist und dass eine Software zur automatischen Steuerung der Vorrichtung im Computer impliziert ist.
20. Verwendung von Vakuum und/oder einer zusätzlichen Wärmequelle zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen mit mindestens einer Einrichtung zur Aussendung von energiereichen Strahlen, dadurch gekennzeichnet, dass Vakuum zur Trocknung der pulverförmigen Stoffe, zur Verhinderung von chemischen Reaktionen der Pulverteilchen, zur Herstellung von porenfreien Schichten und zur Unterdrückung der Wärmeleitung des Bauraumes zur Bearbeitungskammer und/oder eine zusätzliche Wärmequelle zur Temperierung des Bauraumes und zur Trocknung des Pulvers verwendet werden.
21. Verwendung nach Patentanspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine Temperierung von 600 bis 800°C verwendet wird.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

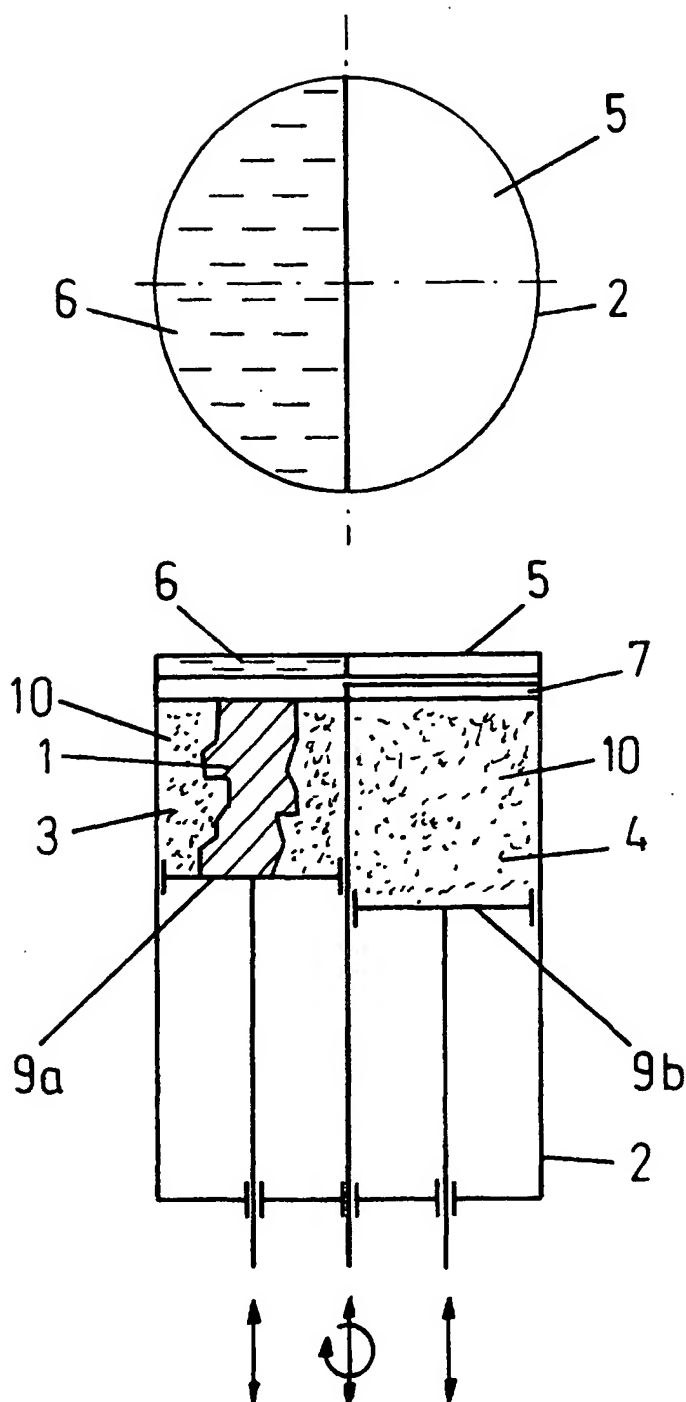


Fig.1

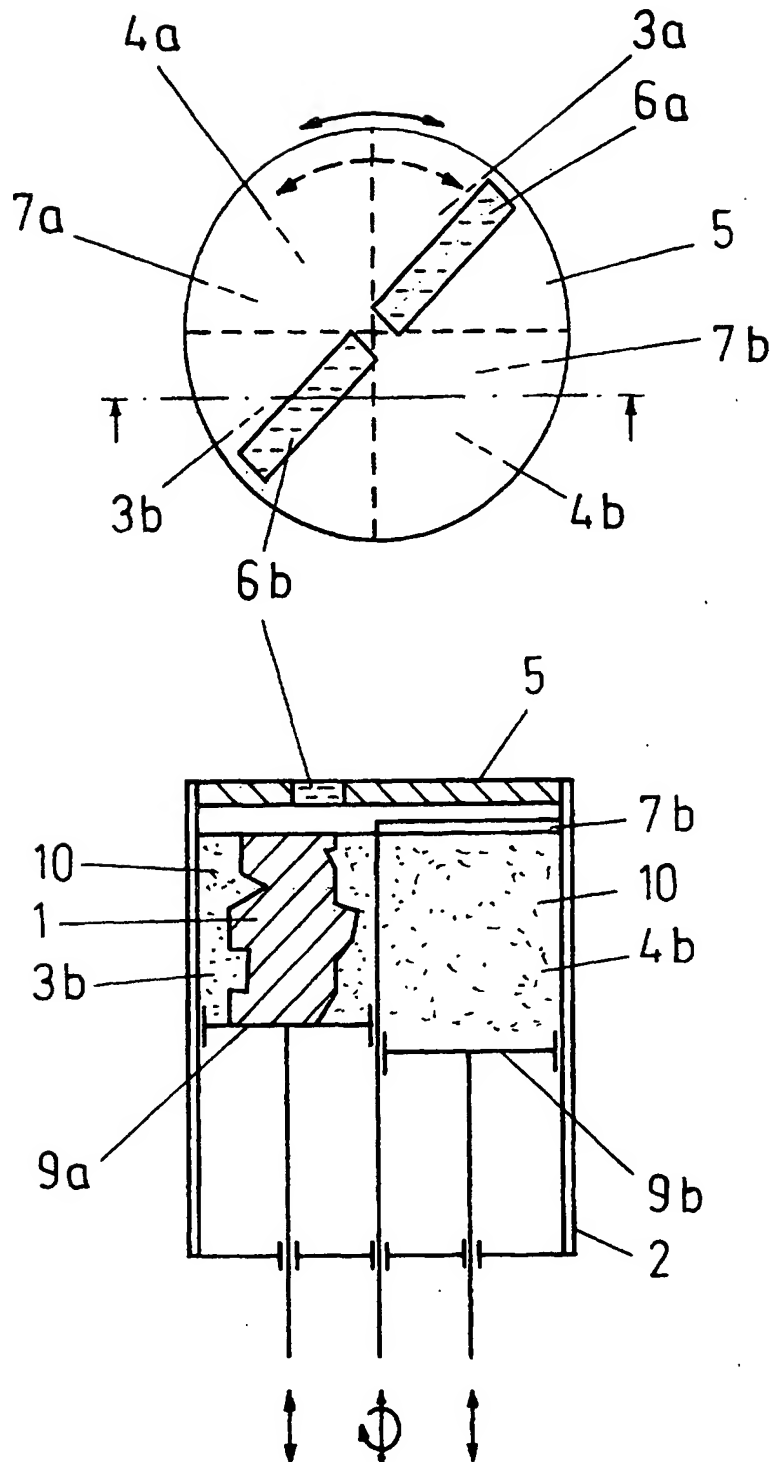


Fig. 2



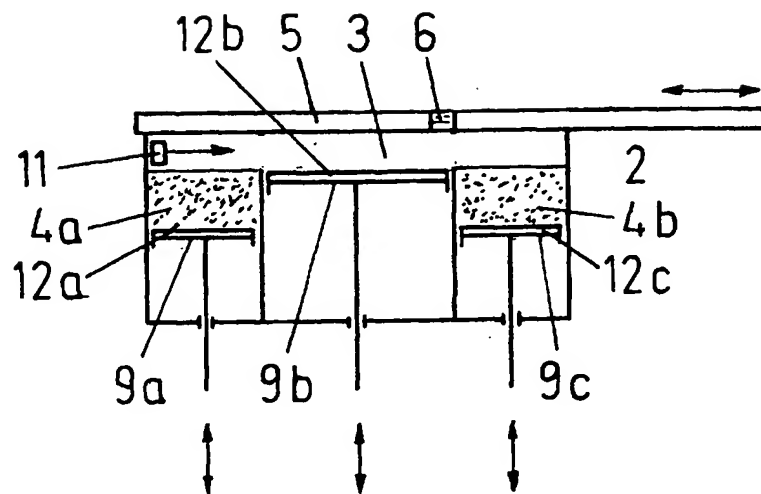


Fig. 3

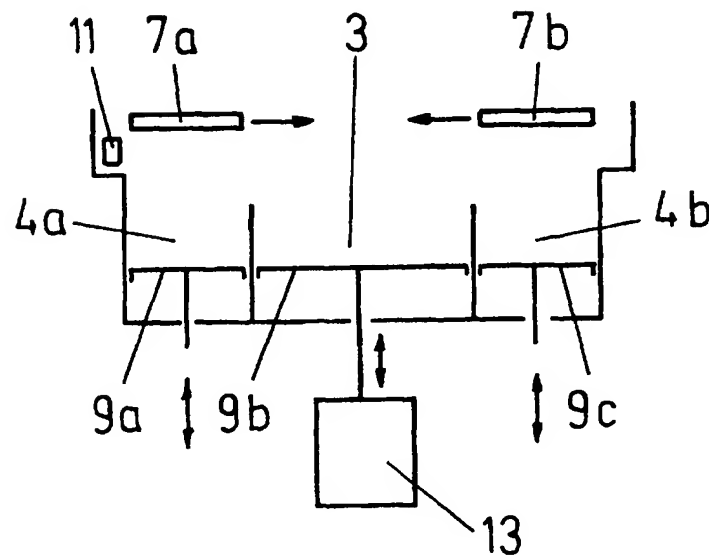


Fig. 4

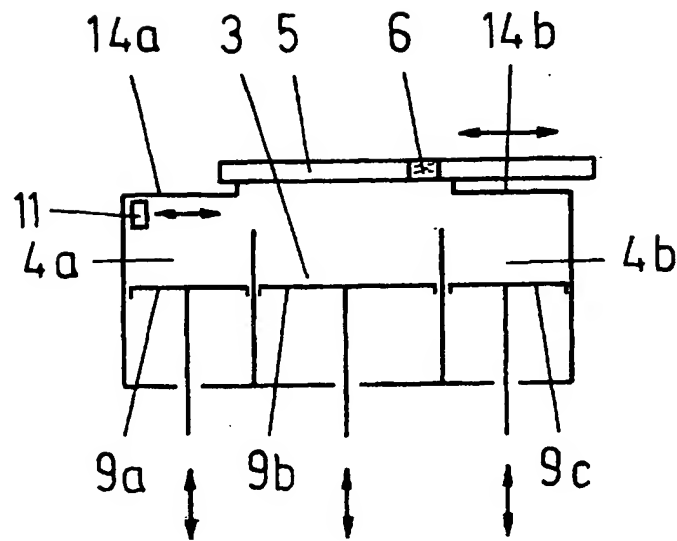


Fig. 5

Note: The PCT International Search Report for WO 2004/014636 cited the following portion of this document:

Column 6 at line 56 through column 8 at line 14

#### Embodiment

The apparatus which produces Bodies 1, specifically tools, ultra-hard tool insets, work pieces, molds or prototypes in layer-construction out of powder materials, consists in a third embodiment, opposite of the first embodiment, out of a big, able to be evacuated working chamber 2 with four component chambers (presented in Fig. 2) and at least one energy rich radiation quantity delivered in the form of a laser.

The work chamber 2 shows a round cross-section with a diameter of 300 mm. The four component chambers are alternately with two cover-plates 7a,7b lockable containers developed. The four component chambers are, in cross-section, circle-caisson-shaped and have equal dimensions. Two vis-à-vis compartments form the construction rooms 3a, 3b and the two other vis-à-vis compartments are reservoirs.

The cover plate 5 of the work chamber 2 is opposite the wall and is along a symmetrical axis pivotal. It contains two launching windows 6a,6b for the laser.

Respectively the two neighboring chambers of the work chamber 2 are alternately lockable with the respective cover plates 7a, 7b in the direction of cover plate 5. In addition, the cover plates 7a, 7b are in the shape of the cross section of the chambers, in form of a fourth-circle. To lock, the cover plates 7a, 7b are lowered to the chambers. The symmetrical axis of the cover plates 7a,7b comprise a 180 degree angle.

The connection point of the cover plates 7a,7b is connected to the pivot-axis 8. The pivot axis is vacuum sealed in the work chamber 2 and backed out. It is at the same time connected to a rotating and translatory drive propulsion system. The system is in figure 2, for simplicity, not shown. On one of the edges of the cover plates 7a,7b a scraper is mounted in order to apply a layer with an equally thick layer of powder 10 in the building room 3a, 3b. The bases 9a,9b,9c, 9d of the compartments are movable opposite the cover plate 5, are arranged in the working chamber 2 and are respectively connected to a translatory drive propulsion system. The systems are not shown in Figure 2. As the production of the bodies 1 in the building room 3a,3b happens, the bases 9a,9c, vacuum sealed, are lowered opposite of the cover plate 5 in the building chamber 2 and the bases 9b,9d of the reservoirs 4a,4b are raised, vacuum sealed, opposite of the cover plate 5 of working chamber 2. The raising and lowering follows the movement of the cover plates 7a,7b with the scraper as follows:

First step: Movement of the cover plates 7a,7b in the direction of the working room 3a, 3b;

Second step: raising of the bases 9b,9d of the reservoirs 4a,4b;

Third step: A three-fourths revolution in which the powder of the top layer of the reservoirs 4a,4b is pushed into the building rooms 3a,3b;

Fourth Step: The processing of the first layers in the working rooms 3a,3b and the first step.

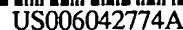
The work chamber 2 has one or more small breather holes. These are found between the inside room of the work chamber 2 and a vacuum forming tool. Thus, is an equally distributed gas flow for evacuation is achieved.

The reservoirs 4a, 4b and/or the cover plates 7a,7b likewise have breather holes, that are smaller than the pieces of powder. This is to warrant a venting like the one reservoirs 4a,4b and in working rooms 3a,3b without accession of powder 10 into the vacuum system.

Over the launching windows 6a,6b is either a alternately energy rich radiation emissive, deflective, or interactive device positioned or an emissive, deflective, or interactive device arranged. These are not shown in Figure 2.

An energy rich radiation emissive device is for example, a Nd:YAG-Laser with a wavelength of 532 nm (doubled frequency) or a Nd:YAG-Laser with a wavelength of 1064 nm. In the optical path of the laser are furthermore radiation forming and radiation guiding devices arranged so that the laser radiation is conducted through the one or both of the launching windows 6a,6b and into the work chamber. There follows the layer-by layer sintering and/or welding of the pieces of powder 10. The sintering and/or welding of the powder 10 forms/are the body 1.

The drive, the laser(s), the movement mechanism of the radiation guiding devices and the vacuum devices are connected to a computer. Therefore is a software driven production of the bodies given.



**[11] Patent Number: 6,042,774**

[45] **Date of Patent:** Mar. 28, 2000

- |           |         |                    |           |
|-----------|---------|--------------------|-----------|
| 5,500,069 | 3/1996  | Ogue et al. ....   | 264/401   |
| 5,562,846 | 10/1996 | McKeen .....       | 249/79    |
| 5,730,925 | 3/1998  | Mattes et al. .... | 264/497   |
| 5,846,370 | 12/1998 | O'Connor .....     | 156/272.8 |

- FOREIGN PATENT DOCUMENTS

- |              |        |                      |
|--------------|--------|----------------------|
| 0 426 363 A2 | 5/1991 | European Pat. Off. . |
| 93 19 567 U  | 6/1994 | Germany .            |
| 43 00 478 C1 | 8/1994 | Germany .            |
| 2-128829     | 5/1990 | Japan .              |
| 5-8305       | 1/1993 | Japan .              |
| WO 92/08592  | 5/1992 | WIPO .               |

- Primary Examiner*—Christopher A. Fiorilla  
*Attorney, Agent, or Firm*—George W. Neuner; Dike,  
Bronstein, Roberts and Cushman LLP

- [22] Filed: Jan. 29, 1998

### Related U.S. Application Data

- [62] Division of application No. 08/622,008, Mar. 26, 1996, Pat. No. 5,753,274.

- [30] Foreign Application Priority Data**

Mar. 30, 1995 [DE] Germany ..... 195 11 772

- [51] Int. Cl.<sup>7</sup> ..... B29C 35/08; H05B 6/00  
[52] U.S. Cl. .... 264/497; 264/460  
[58] Field of Search ..... 264/497, 430,  
264/460, 461, 463

- [56]
- References Cited**

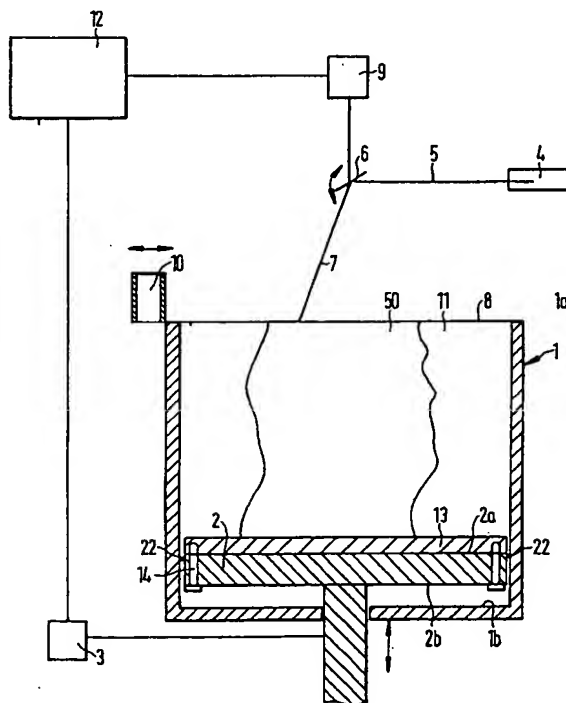
## U.S. PATENT DOCUMENTS

- |           |         |                     |          |
|-----------|---------|---------------------|----------|
| 4,752,498 | 6/1988  | Fudim .....         | 427/54.1 |
| 4,801,477 | 1/1989  | Fudim .....         | 427/54.1 |
| 4,944,817 | 7/1990  | Bourell et al. .... | 156/62.2 |
| 5,011,635 | 4/1991  | Murphy et al. ....  | 264/22   |
| 5,156,700 | 10/1992 | Berman et al. ....  | 156/155  |
| 5,173,220 | 12/1992 | Reiff et al. ....   | 264/22   |
| 5,352,310 | 10/1994 | Natter .....        | 156/155  |
| 5,460,758 | 10/1995 | Langer et al. ....  | 264/401  |

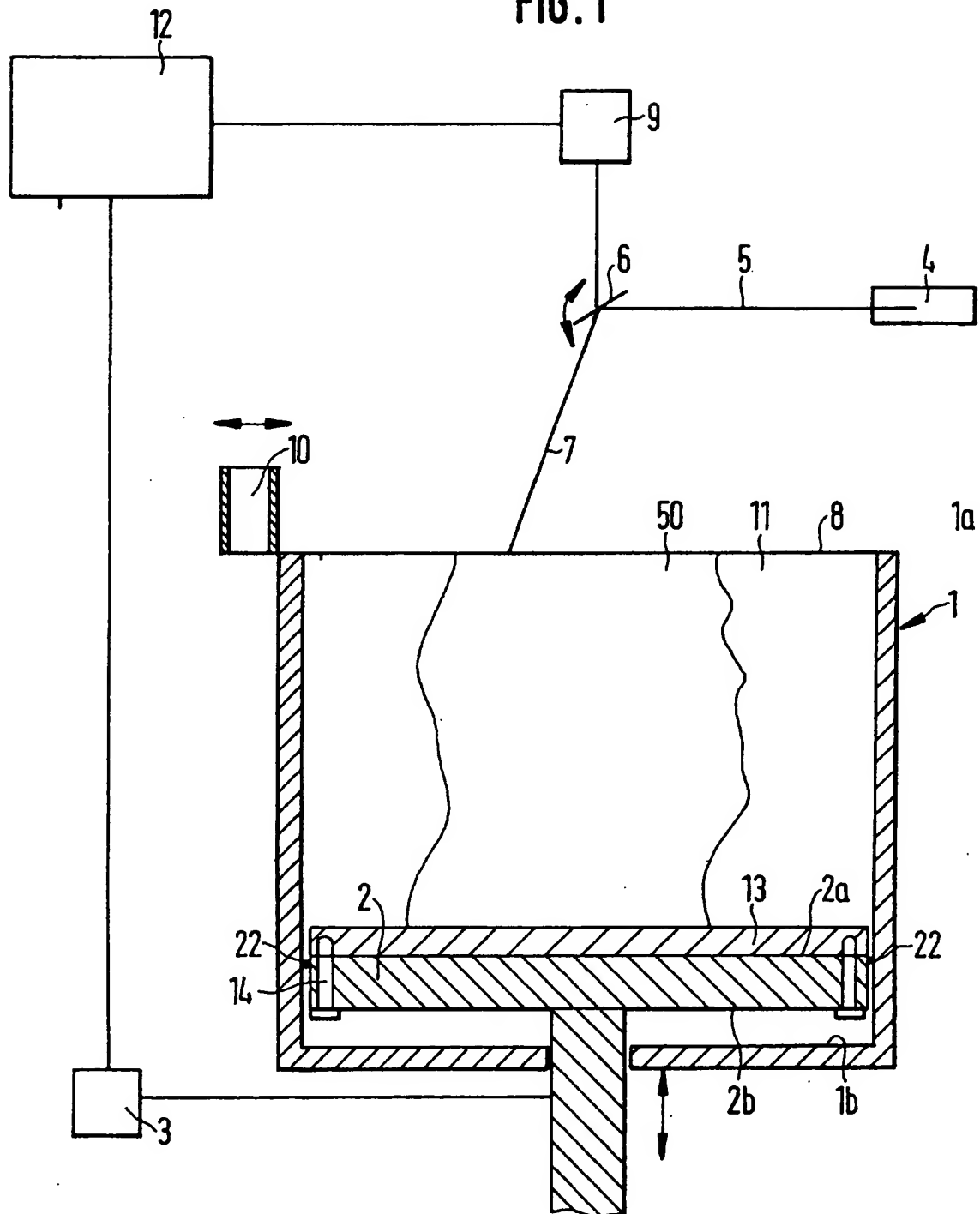
[57] **ABSTRACT**

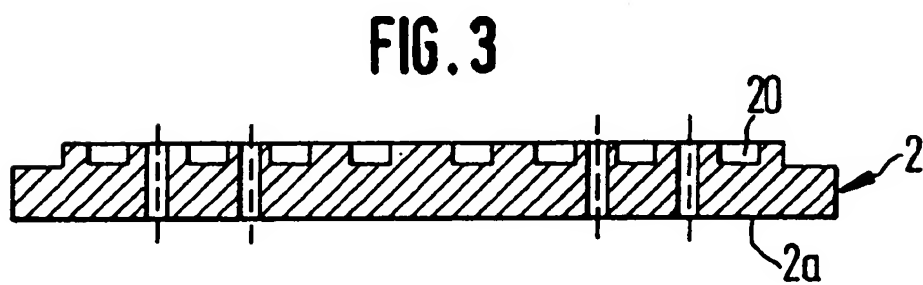
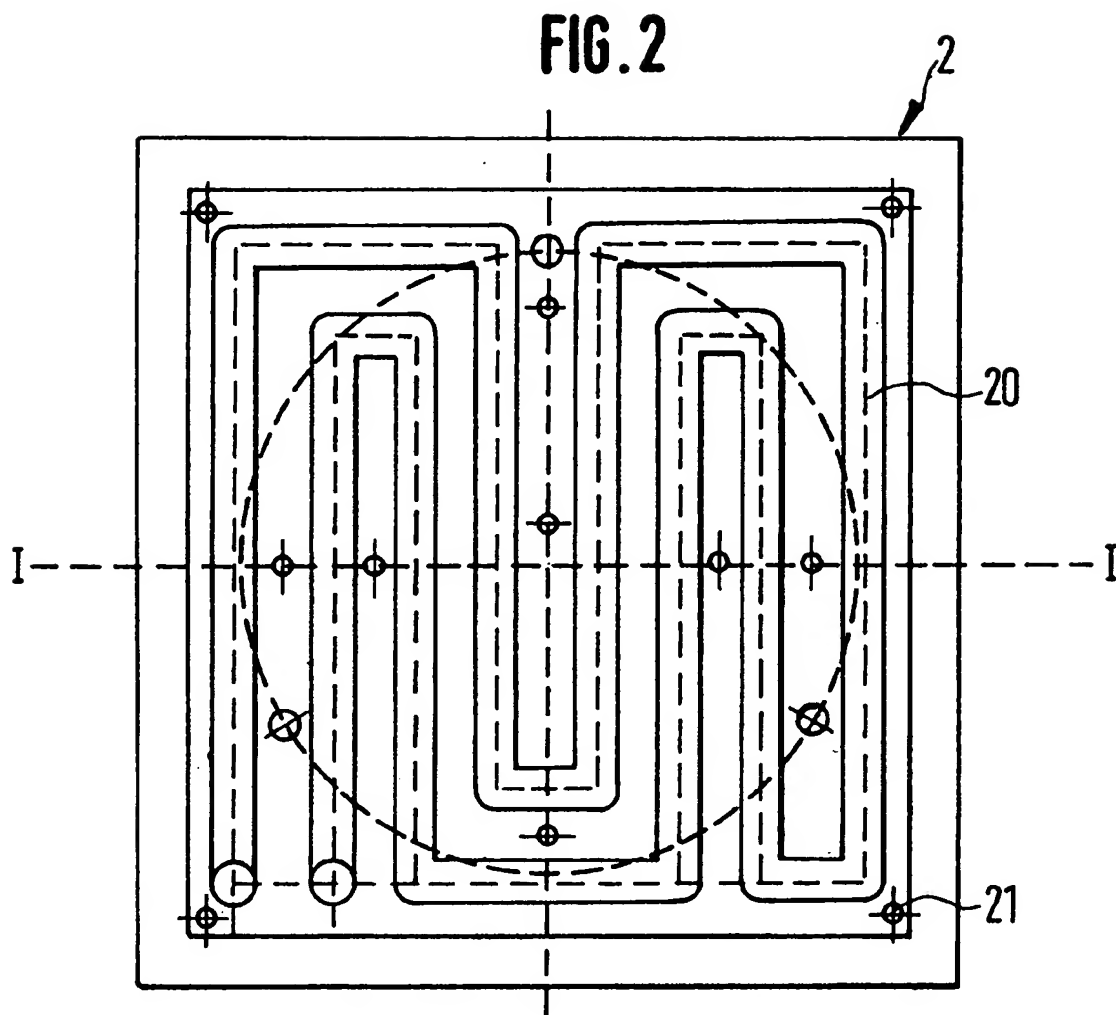
A method of producing an object by successive solidification of layers of a powder material is disclosed. The method provides a preformed base plate having a metal plate with a solidified layer of a powder material formed thereon. Then, successive layers of said powder material are applied and solidified on the solidified layer of the base plate to form the object. In further detail, the method for produces a three-dimensional by providing a support and a preformed base plate having an upper surface for supporting the object. The base plate is removably attached to the support. Means are provided for adjusting the elevation of said upper surface. A layer of the powder material is applied to the upper surface of the base plate. The powder material is solidified at points corresponding to a cross-section of the object by irradiation with electromagnetic or particle radiation. Then, the applying and solidifying steps are repeated for completing the object.

**22 Claims, 2 Drawing Sheets**



**FIG. 1**





1

## METHOD FOR PRODUCING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT

This application is a divisional of U.S. patent application Ser. No. 08/622,008 filed Mar. 26, 1996 now U.S. Pat. No. 5,753,274.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

The invention relates to an apparatus for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a material. The invention further relates to a corresponding production method.

German Patent 43 00 478 discloses a method known as selective laser sintering for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material at points corresponding to a cross-section of the object using electromagnetic radiation and a corresponding apparatus for carrying out this method. In this known apparatus the object to be formed is constructed on a metallic platform which is part of the apparatus. However, the process of sintering or solidifying the layers of the object can not start with the first powder layer applied to the platform, because the solidified regions of this layer are not laterally supported and will therefore be displaced on the metallic platform when applying the following powder layer by means of a wiper used for applying the powder. Thus, usually at least one or better several powder layers are completely solidified using the laser beam to form a basis for the object. However, this complete solidification of the first layer applied to the metallic platform requires a long additional processing time which considerably increases the total production time of the object.

### OBJECTS OF THE INVENTION

It is an object of the invention to provide an improved method and apparatus in which the above-mentioned drawback is avoided. It is a further object of the invention to modify the conventional method and apparatus so that the production time of the object is reduced.

### SUMMARY OF THE INVENTION

According to the invention an apparatus for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material at points corresponding to a cross-section of the object using electromagnetic or particle radiation comprises support means having an upper side for supporting the object thereon at a determined elevation, a prefabricated base plate on the upper side, the base plate being made of a material to which the powder material adheres to when being solidified, means for removably connecting the base plate to the upper side of the support means, elevation adjustment means for varying the elevation of the upper side, means for applying a layer of the material onto the upper side or onto another layer formed on the upper side, and irradiation means for irradiating the layer of the material at the points corresponding to a cross-section of the object.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Further advantages, features and objects of the invention will be apparent from the following description of an exemplary embodiment with reference to the drawings. In the drawings

FIG. 1 shows a cross-sectional side view of the apparatus according to the invention in schematic representation;

2

FIG. 2 is a bottom view of an embodiment of the object support means 2 shown in FIG. 1;

FIG. 3 is a cross-section of the object support means taken along line I—I in FIG. 2.

### DESCRIPTION OF A PREFERRED EMBODIMENT

As best shown in FIG. 1 the apparatus for producing a three-dimensional object comprises a container 1 having an open top and an object support 2 mounted within the container 1 for vertical displacement by means of an elevation adjustment device 3. The object support 2 is formed as a plate extending parallel to an upper edge 1a of the container for supporting the object 50 to be formed. The horizontal dimensions of the object support 2 are slightly smaller than the corresponding cross-section of the interior of the container 1 so that the object support 2 can smoothly slide within the container 1. The gap between the edge of the object support 2 and the inner wall of the container 1 is sealed by a flexible sealing lip 22 surrounding the outer edge of the object support 2.

A prefabricated plate 13 made of a solidified building material is arranged on the upper side 2a of the object support 2 facing the open top of the container 1. The plate 13 serves as a base for the object 50 to be formed and is connected to the object support 2 through bolts 14 engaging threaded bores provided in the bottom side of the plate 13 facing the object support 2. The size of the plate 13 corresponds to the size of the object support 2. Moreover, the plate 13 is mounted on the object support 2 in such a manner that it extends parallel to the upper edge 1a of the container.

As best shown in the FIGS. 2 and 3 a cooling conduit 20 formed with meandering loops receiving a copper tube for cooling water is formed in the bottom surface 2b of the object support 2 facing the bottom 1b of the container. The object support 2 further comprises a plurality of bores 21 receiving the bolts 14 connecting the object support 2 with the presintered plate 13.

In the described embodiment the container 1, the object support 2 and the presintered plate 13 all have a square cross-section. However, this cross-section may also be circular or rectangular or have an arbitrary shape.

The object support 2 is made of a metal having good heat conductive properties, for example aluminum. The presintered plate 13 is made of the same building material which is used for forming the object 50. Preferably, the building material consists of metal powder, ceramic powder, resin coated metal or ceramic powder or resin coated sand.

An irradiation device 4 formed as a laser delivering a directed light beam 5 is arranged above the container 1. A deflection device 6, for example a rotating mirror, focuses the light beam 5 as a deflected beam 7 onto the working plane 8 defined by the upper edge 1a of the container. A control device 9 controls the deflection device 6 so as to direct the deflected beam 7 onto any desired point within the working plane 8.

A device 10 for applying a uniform layer of a powdery material 11 which can be solidified by action of electromagnetic radiation can be moved horizontally across the working plane 8 and parallel thereto. The applying device 10 is for example formed as a combination of a reservoir with a wiper for applying and smoothing the layer.

The elevation adjustment device 3 and the control device 9 for the irradiation device 4 are both connected with a central control unit 12 formed as a processor for controlling the devices in a coordinated manner.



In the inventive method a first step is to produce the plate 13 by solidifying or sintering the corresponding building material under heat action in an oven.

In a following step the object support 2 is moved in direction towards the open top of the container 1 and out of the container up to a stop so that the presintered plate 13 can easily be mounted at the object support 2. Thereupon the plate 13 is screwed to the object support 2.

In a following step the object support is lowered to a position wherein the upper side of the presintered plate 13 is below the upper edge 1a of the container by an amount corresponding to the thickness of a layer. Thereupon a first layer of the material 11 is applied to the plate 13 by means of the applying device 10 and smoothed using the wiper. The control unit 12 then controls the deflection device 6 through the control device 9 thereof in such a manner that the deflected light beam 7 strikes those points of the material layer which shall be solidified according to the coordinates of the object 50 as stored in the control unit 12. In this way the material is solidified or sintered, resp., at these points. Preferably, the irradiation of the first powder layer is carried out a second time to create a solid connection between the presintered plate 13 and the first layer of the object 50. Since the plate 13 consists of the same material as the object 50, the first layer of the object when solidified perfectly adheres to the plate 13.

In a following step the object carrier 2 is lowered by an amount corresponding to the thickness of the following layer and a second material layer is applied by means of the applying device 10 and again smoothed and solidified.

The steps of applying the material, smoothing and solidifying the material are carried out a number of times required for completing the object 50 to be produced. Since the laser power required in particular for sintering metal powder is between 100 and 200 W, the object 50 is considerably heated. Peak temperatures of 900° C. at the sintering point and average temperatures of the object of around 200° C. are possible. This may produce oxidation of the building material. For this reason the object support 2 is cooled during the entire building process. Since the building materials used generally have a good heat conductivity, the object 50 or the entire container 1 with the material 11 therein, resp., can be kept at constant temperature.

After completing the building process the object support 2 is lifted to protrude from the top of the container and the presintered plate 13 together with the object 50 formed thereon is unscrewed. Subsequently the object 50 is separated from the plate 13 using a saw and post-processed.

Besides of the reduction of production time, the use of the presintered plate 13 of sintered building material is advantageous in that it provides a stable basis for the first layers of the object. This means that a curl or deformation, resp., of the object is reduced.

Modifications of the described process are possible. Typically, the described metal sintering device is used for building mold insets. In case the mold inset has a plane base surface, the presintered plate 13 will form part of the sintered object. The plate 13 is adapted to the corresponding object by post-processing steps. This is for example done using a piercing saw for cutting the plate 13 to the correct size. In this case the presintered plate can not be used in a next building process.

In case that the mold inset to be produced has no plane base surface, first a support construction is formed on the presintered plate 13 and subsequently the object is constructed. After the forming process the object is separated

from the presintered plate at the support construction. The separation can be facilitated by a suitable choice of predetermined breaking points in the support construction. In this case the presintered plate can be reused in another building process after a pretreatment, for example by filing the surface.

In place of the plate 13 consisting of only solidified building material a metal plate, in particular a steel plate, may be used which has one or several layers of the solidifiable material applied and solidified or sintered, resp., thereon.

Although the invention has been described with reference to a specific example embodiment, it is to be understood that it is intended to cover all modifications and equivalents within the scope and spirit of the appended claims.

What is claimed is:

1. A method of producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material, the method comprising the steps:

making a base of a material which said powder material adheres to when being solidified,

removably fastening said base to a support means for said object,

applying a layer of said powder material to said base and solidifying said powder material at points corresponding to a cross-section of said object by irradiation with electromagnetic or particle radiation, and

repeating the applying and solidifying steps for completing the object.

2. The method of claim 1, comprising producing said base by solidifying the same powder material which is used for producing said object and fastening said produced base on said object support.

3. The method of claim 2, comprising solidifying said powder material by action of heat in an oven for forming said base.

4. The method of claim 1, comprising producing said base by solidifying at least one layer of said powder material on a metal plate.

5. A method for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material, the method comprising the steps of:

providing a support;

providing a preformed base plate having an upper surface for supporting said object;

removably attaching said base plate to said support;

providing means for adjusting the elevation of said upper surface;

applying a layer of said powder material to the upper surface of said base plate;

solidifying said powder material at points corresponding to a cross-section of said object by irradiation with electromagnetic or particle radiation; and

repeating the applying and solidifying steps for completing the object

wherein the step of providing said base plate comprises presolidifying an amount of a powder material in forming said base plate.

6. The method of claim 5, wherein said base plate is formed by solidifying said powder material.

7. The method of claim 5, wherein said base plate has a size corresponding to that of said support.

8. The method of claim 5, wherein said support comprises a plate.

## 5

9. The method of claim 5, comprising providing cooling means formed in said support for removing heat produced in said object and in said base plate when producing said object.

10. The method of claim 9, said cooling means comprising cooling channels formed in said support on a side thereof opposite to said object.

11. The method of claim 5, further providing fastening means to removably connect said base plate to said support.

12. The method of claim 1, wherein said irradiation means comprises a laser.

13. The method of claim 1, wherein said powder material comprises metal powder, ceramic powder, resin coated metal or ceramic powder or resin coated sand.

14. The method of claim 1, wherein said base plate comprises a metal plate having at least one solidified layer of said powder material formed thereon, said metal plate facing the upper side of said support.

15. A method for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material, the method comprising the steps of:

providing a support;

providing a preformed base plate having an upper surface for supporting said object, the upper surface providing adherence for the powder material to form the object;

removably attaching said base plate to said support; providing means for adjusting the elevation of said upper surface;

applying a layer of said powder material to the upper surface of said base plate;

solidifying said powder material at points corresponding to a cross-section of said object by irradiation with electromagnetic or particle radiation; and

repeating the applying and solidifying steps for completing the object.

16. The method of claim 15, further comprising producing said preformed base plate by solidifying the same powder material which is used for producing said object and fastening said produced base plate on said support.

## 6

17. The method of claim 16, further comprising solidifying said powder material to produce said base plate by action of heat in an oven for forming said base.

18. The method of claim 15, further comprising producing said preformed base plate by solidifying at least one layer of said powder material on a metal plate.

19. A method for producing a three-dimensional object by successive solidification of layers of a powder material, the method comprising the steps of:

providing a support;

providing a preformed base plate having an upper surface for supporting said object;

removably attaching said base plate to said support;

providing means for adjusting the elevation of said upper surface;

applying a layer of said powder material to the upper surface of said base plate;

solidifying said powder material at points corresponding to a cross-section of said object by irradiation with electromagnetic or particle radiation; and repeating the applying and solidifying steps for completing the object wherein the step of providing said base plate comprises presolidifying a layer of powder material as an upper surface for supporting said object and providing adherence for the powder material forming the object.

20. The method of claim 19, further comprising producing said preformed base plate by solidify the same powder material which is used for producing said object and fastening said produced base plate on said support.

21. The method of claim 20, further comprising solidifying said powder material to produce said base plate by action of heat in an oven for forming said base.

22. The method of claim 19, further comprising producing said preformed base plate by solidifying at least one layer of said powder material on a metal plate.

\* \* \* \* \*

**Evaluation of the Advanced Ceramics Market for New Applications of  
Three Dimensional Printing**

by

Michael Landry Rynerson

B.S., Mechanical Engineering  
Tulane University  
(1992)

Submitted to the Department of  
Mechanical Engineering in Partial Fullfillment of  
the Requirements for the  
Degree of

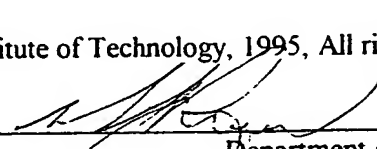
Master of Science

at the

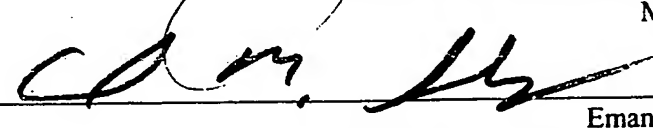
Massachusetts Institute of Technology  
May 1995

© Massachusetts Institute of Technology, 1995, All rights reserved.

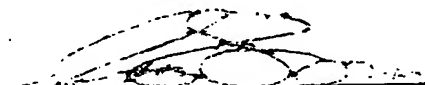
Signature of Author

  
Department of Mechanical Engineering  
May 12, 1995

Certified by

  
Emanuel M. Sachs  
Associate Professor, Mechanical Engineering  
Thesis Supervisor

Accepted by

  
Ain A. Sonin  
Chariman, Graduate Committee

MASSACHUSETTS INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY

AUG 31 1995

LIBRARIES

# Evaluation of the Advanced Ceramics Market for New Applications of Three Dimensional Printing

by

Michael L. Rynerson

Submitted to the Department of Mechanical Engineering  
on May 19, 1995 in partial fulfillment of the  
requirements for the Degree of Master of Science

## ABSTRACT

Three Dimensional Printing is a process for the manufacture of tooling and functional prototype parts directly from computer models. Three Dimensional Printing functions by the deposition of powdered material in layers and the selective binding of the powder by "ink-jet" printing of a binder material. Following the sequential application of layers, the unbound powder is removed, resulting in a complex three-dimensional part. The process may be applied to the production of metal, ceramic, and metal-ceramic composite parts.

Accomplishments of this effort are the development of interactive database and spreadsheet tools for evaluating new 3DP applications, selection of an application for further analysis using software methods, and creation of fully dense, complex 3DP ceramic composites via liquid melt infiltration techniques to demonstrate 3DP's ability to compete in this market.

Interactive database and spreadsheet tools were developed around the Quality Loss methodology to evaluate the technical and financial feasibility of new applications for 3DP. The Quality Loss methodology developed here is a quantitative method of comparing the capabilities of a manufacturing process with the design specifications of a given application. This software has been used to analyze the characteristics of 89 potential 3DP applications and rank them from most to least promising. From these applications, the *compact core high temperature heat exchanger* was chosen as the most appealing application of 3DP under the given circumstances. Other top applications are discussed in detail.

Up to the beginning of this project, only simple fully dense ceramic 3DP components without internal cavities had been created via isostatic pressing and sintering. Liquid melt glass-ceramic infiltration techniques were explored and alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) preforms have been successfully densified in creating the first fully dense, complex 3DP components with very little overall shrinkage.

Based on experience gained in the market study and test component fabrication phases of the 3DP Application Survey, suggestions for the possible evolution of 3DP are made. Machine and process enhancements to make 3DP a viable manufacturing process for full production of structural ceramics are briefly explored.

Thesis Supervisors: Professor Emanuel Sachs

Title: Associate Professor of Mechanical Engineering

Professor Michael Cima

Title: Professor of Material Science

## 6.3 High Volume Printer

A 3D Printer with increased build volume has the potential to reach new markets in investment casting, rapid tooling, direct metal components, and advanced ceramics. Not only does a larger build volume allow larger components to be fabricated, but increases the maximum potential buildrate of a given printhead. The cost of a large build volume printer is proportionately lower than smaller machines, and is shown to be more than offset by the increased productivity.

### 6.3.1 New Markets for Large Volume 3DP (LV-3DP)

New markets for the LV-3DP include metal casting prototypes for the automotive industry, rapid tooling for multi-cavity injection molding / die casting, manufacture large high capacity heat exchangers, and components for the petrochemical industry. Naturally the LV-3DP system would be able to produce current applications at a higher rate, lowering unit manufacturing cost of these components.

Casting Prototypes- Ford Motor Company has developed the Stratiform-Machining process for "rapid" prototyping large metal components such as engine blocks, cylinder heads, and transmission housings. Current methods require 20-24 weeks and can cost upwards of \$250,000 per testable prototype. The Stratiform process reduces this to approximately 100 days and costs roughly \$25,000 per working prototype. An added benefit of reduced cost and development time is the ability to iterate towards an optimum design. 3DP could compete directly with this methodology and deliver components in ever less time. Take for example an engine block that fits into a work volume of 24x24x24 inches. To print this entire volume at the current build rate quoted by Soligen (800 cc/hr) would take approximately 12 days. This would give a near net preform in, perhaps, alumina which could then be pressure infiltrated with aluminum. After any necessary heat treatment cycles, the component would be finish machined. Table ??? below give a conservative breakdown of processes an their times.

Table 6.7 Rapid Metal Prototyping

Operation	Time
3D Print preform	12 days

Pressure infiltrate	2 days
Heat Treat	2 days
Finish Machine	7 days
<b>Total</b>	<b>18 days</b>

Even if this assessment were off by a factor of 3, this would be nearly 6 weeks faster than the Strati-form process. Disadvantages are design corrections to account for lower surface quality (must undersize bore of cylinders and bearing surfaces so finish machining has adequate material to remove), and stainless steel-bronze composite has considerably different material characteristics than either cast iron or aluminum (standard IC engine materials).

### 6.3.2 Increased Build-rate

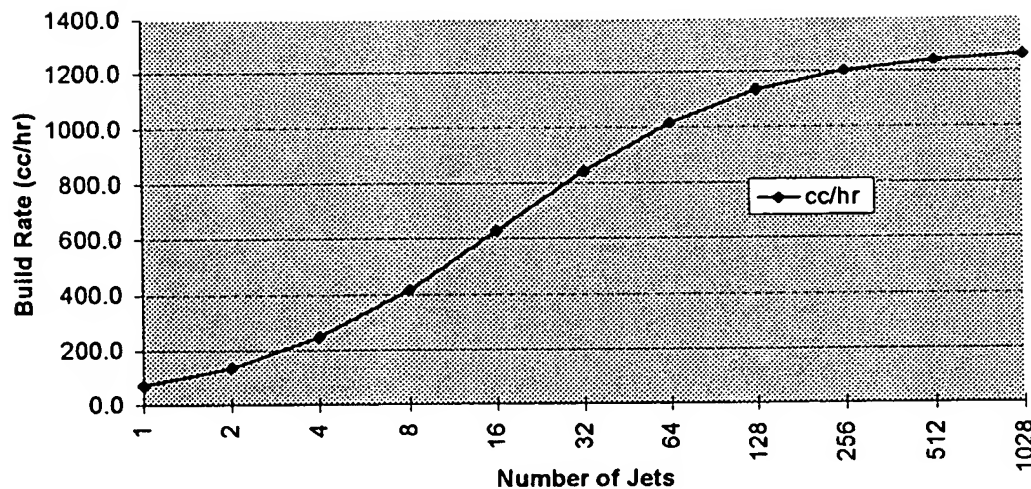
Build rate is a function of both mechanical and electronic elements both returning to limitations in the fundamental physics of the printing operation. The basic elements of the printing process are, generation of control signals from the electronics, generation of droplets, and the chemical interaction of the binder droplet in the powder bed to form a primitive. Although bottle necks arise in each of these areas as print resolution and print speed are to increase, this section will concentrate printing operation and physical layout of the printer.

Printing operation - To achieve the maximum through-put for a given fast axis / printhead combination, the powderbed must have as many components per layer as possible. This is supported by the concept of "chip-to-chip" time in NC machining. The only time a NC machine tool is doing something useful, is when the bit is in contact with the work. Analogous to this in the 3D Printer is the time when binder is being applied to the powder. All other operations are merely overhead and should be reduced as much as possible.

Increasing the number of jets from 8 to 64 will have a substantial impact on buildrate. Beyond this, however, the costs of increasing the number of jets can no longer be justified by the decreasing build rate gains. As the number of jets increases, non-printing operations begin to dominate the total time per layer, eventually limiting the maximum buildrate achievable with a given printhead.

**Figure 6.10**

**Build Rate vs. # Jets**  
(with 12" fast axis, 177 micron layers)



In the current Alpha configuration, the portion of the printing cycle allocated to spreading and diagnostics averages roughly 45 seconds per layer. Obviously to minimize the fraction of the total cycle this is to represent, the printer should print the entire width of the powderbed. In the case of manufacturing small components on a production 3DP Manufacturing system, the entire work volume of the powder bed should be printed, and then removed as a unit for part retrieval and cleanup.

Suggestions for reducing non printing delays in the design of a next generation printer are:

- ♦ Incorporate two spreader rollers into the fast axis carriage: Spreading and printing can be carried out simultaneously if the cycle is arranged appropriately. This would require that the printing and spreading begin on alternating ends of the fast axis after every layer. See figure ??? for the schematic of a proposed solution. This minimizes the overall travel of the slow axis, and the number of passes necessary.

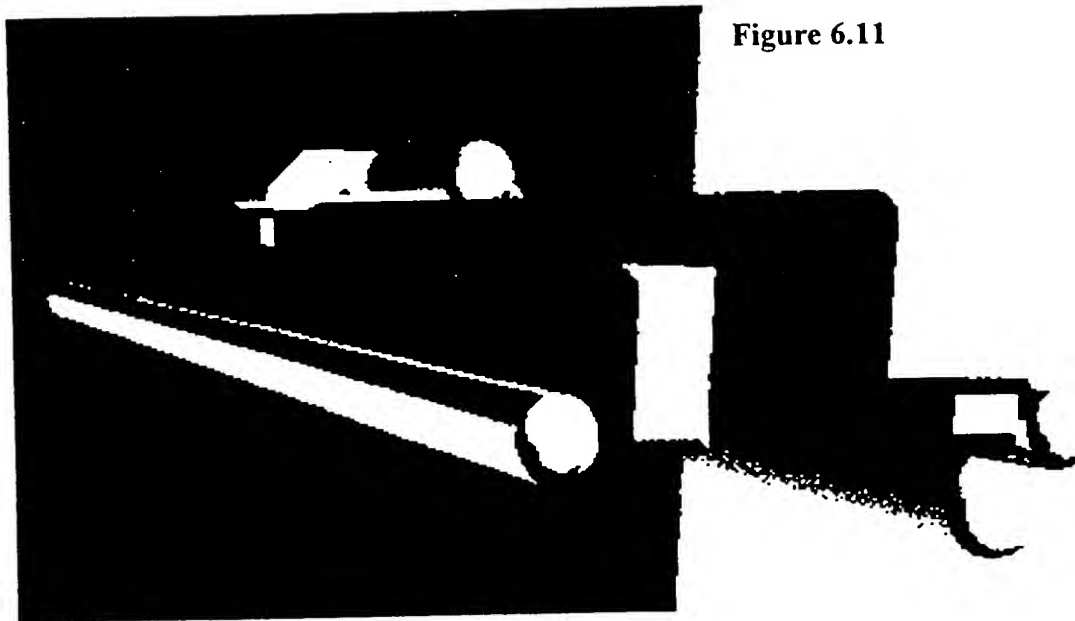


Figure 6.11

The figure above shows a spreader roller on either side of the fast axis (shown without supports, printhead, drivegear, or umbilical). The smaller cylinders are the ceramic vibration transducers similar to those found on the MIT Alpha machine. The rocker above the fast axis actuates the rollers which are on floating gimbals ala Boeing 747 main landing gear. The new print cycle is as follows:

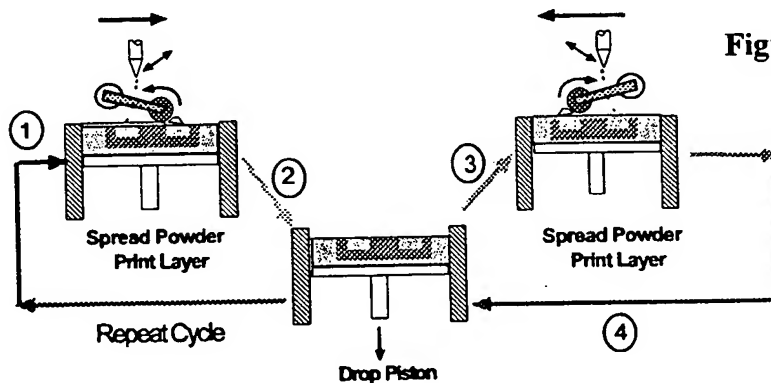


Figure 6.12

NOTE: Fast axis is into page

- ♦ Removable powder-bed - This is key for printers with a shallow print-bed (small z-dimension) where the overall print cycle is proportionately shorter. As soon as the last layer is printed the printing technician or automatic tool changer removes the fully printed powder-bed and an replaces it with a clean, empty piston. Printing resumes immediately. The printed piston can now be taken to post processing for part extraction or, if the piston



is ceramic, placed directly in a furnace for binder burnout. This improvement does not inherently change the architecture of current 3DPrinters ( the Alpha already has accommodations for easily removing the piston from the front.

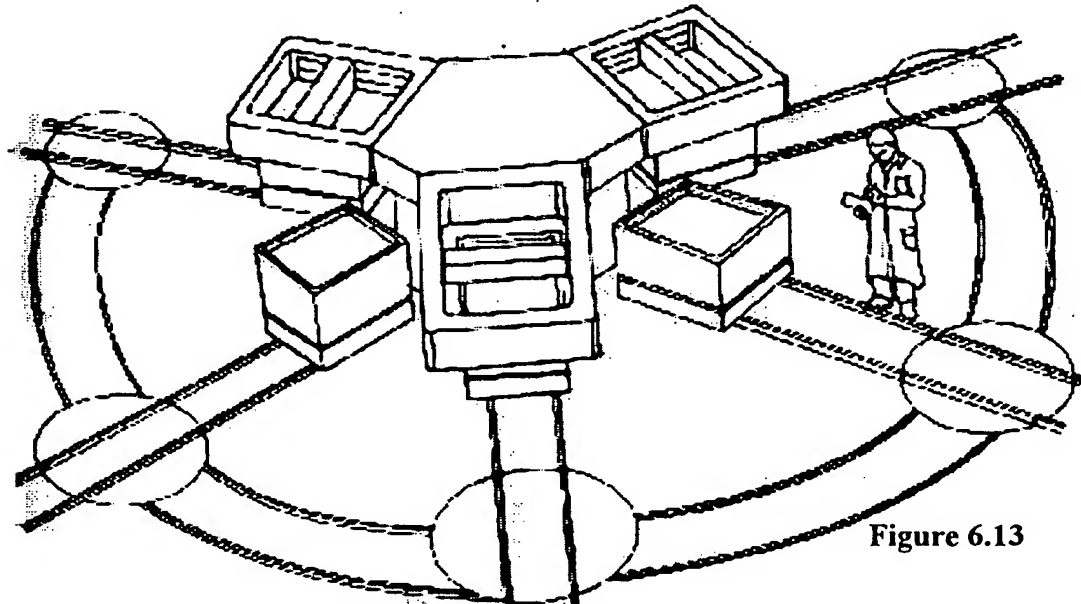


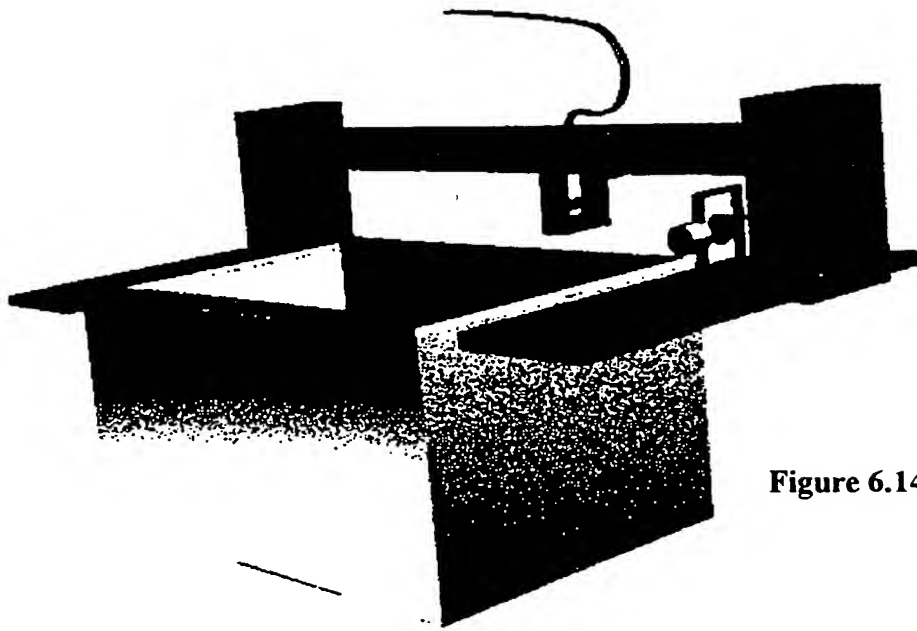
Figure 6.13

The illustration above is a multiprintbed 3DP Manufacturing Cell concept with automated printbed removal and transport. The rotary in the center cantelevers three fast/slow axis arms which simultaneously print on three powderbeds. The other three powderbeds are taken to postprocessing areas during printing and are returned by the end of the print cycle. The rotary then indexes one station to the right or left and printing commences immediately. This cycle is intended to reduce delay between printruns for continuous production.

This system definitely represents a great leap from the current 3D Printers, with a host of technical difficulties not addressed here. It does illustrate, however, how the concepts of the flexible manufacturing cell can be applied to 3DP.

- ♦ On the fly jet correction - Although much more technically challenging than other improvements, this would directly affect the overall accuracy and robustness of the process.

The current Alpha process cycle includes a pause of nearly 2 minutes every ten minutes for assessing the conditions of the jets. Obviously this adds considerably to the total time budget for the print cycle.



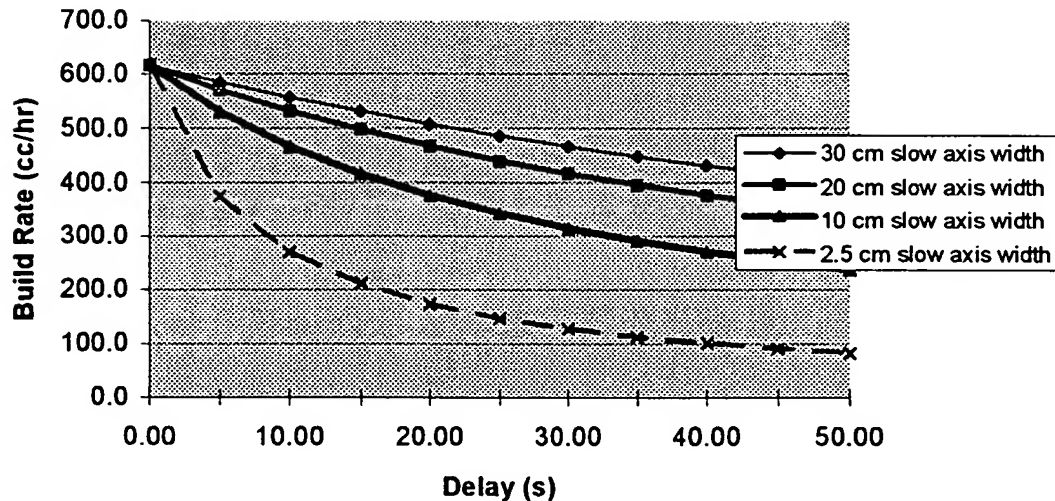
**Figure 6.14**

The diagram above shows a small camera on a positionable mount at the end of the fast axis stroke, which traverses the powderbed with the fast axis. During each spreading cycle 2 jets are checked for alignment ,thereby assessing all eight jets (in the case of the Alpha printhead), every 4 layers.

- ♦ Increase Printbed Size- Increasing the size of the printbed has considerable effect on print rate, because it increases the printing fraction of the print cycle budget. Increasing the length of the fast axis has the greatest affect on build rate, but is also the more costly option. A more detailed cost analysis is necessary to determine the most practical fast axis length.
- ♦ Slow axis length can be increased at a relatively low cost and have substantial impact on build rate. Naturally this assumes that the previous suggestion of printing the entire print bed is adopted (in 3DP manufacturing). Figure 6.15 below indicates build rates calculated for slow axes lengths of 2, 10, 20, and 30cm verses interlayer delay (spreading and diagnostics). At the current 45 second / layer delay, printing a bed 30 cm wide (vs. 15.2) increases build rate by approximately 30%.

**Figure 6.15**

**Build Rate vs. Interlayer Delay**  
(with 31 cm fast axis, 8 jets, 177 micron layers)



### 6.3.3 Conclusions

There are several relatively inexpensive mechanical improvements which can be made in future iterations of the current 3DP printers that have a large impact on build rate. While not the only or necessarily most immediate need to all applications 3DP, increasing build rate is very important for 3DP to ever become a viable manufacturing process of large and or high volume components. The suggestions made here address possible, and by no means, the only solutions for achieving higher 3DP productivity.

## 6.4 3DP Interactive Design Guide

An interesting secondary use of the evaluation software (in a more refined, interactive form) would be for educating designers of the strengths and limitations of 3DP. They could explore how Direct Shell Production, Rapid Tooling, or Rapid Manufacturing can solve their design problems. They will have the most up to date and accurate information on their application to enter into the database for comparison, assuring the quality of the results. Once educated, designers will be more likely to consider a free form fabrication method for their application. Secondly, and perhaps more intriguing, if 3DP falls short of their needs in some area, they will be

more likely to suggest improvements to the 3DP process or post processing methods so that they can exploit 3DP's numerous advantages.

Draper Labs has expressed some interest in the Quality Loss software as a marketable product not only for 3DP but any manufacturing process. Every manufacturing system has certain well defined limitations which can be incorporated in the database for comparison with a customer's needs. Reducing the time and expertise necessary to selecting the proper equipment for an application is potentially very valuable.